



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Desarrollo de herramientas de fabricación digital para la instrumentación de canal hidráulico en el Laboratorio

Treball realitzat per:

Judith Xarles Vila

Dirigit per:

Rolando Antonio Chacón Flores

Grau en:

Enginyeria Geològica

Barcelona, **Junio 2017**

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero agradecer al profesor Rolando Chacón por brindarme la oportunidad de haber podido realizar este trabajo, por el apoyo y ayuda que he recibido por su parte, la confianza que ha puesto en mí y las facilidades que me ha dado. Todos los conocimientos, soporte y consejos recibidos a lo largo de estos años, permitiéndome crecer como persona y estudiante.

Además de introducirme en un nuevo mundo tecnológico, herramientas low-cost, aplicándolo a un campo donde yo me sintiera cómoda como es la hidráulica.

Agradecida también por la ayuda recibida del profesor Martí Sánchez Juny que siempre que he necesitado visitar el canal no ha tenido ningún inconveniente en acompañarme y asesorarme.

A CaminsTECH que gracias a ellos pude utilizar la impresora 3D que acababa de llegar a la escuela, la pieza que se realizó para este trabajo fue una de las pioneras.

A mis amigos y compañeros de ERASMUS que se han preocupado por mí, animándome a seguir y que no me rindiera.

Por último a mi familia y gente cercana agradecerles la confianza que me han puesto en mí a lo largo de estos años.

DESARROLLO DE HERAMIENTAS DE FABRICACIÓN DIGITAL PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE CANAL HIDRÁULICO EN EL LABORATORIO

Palabras clave: Canal Hidráulico, Medidas de distancia, herramientas low-cost, Arduino, Sensores de proximidad.

RESUMEN

Autor/a: Judith Xarles Vila

Tutor: Rolando Antonio Chacón Flores

En los últimos años se ha amplificado el uso de herramientas de fabricación digital, con la aparición los fablabs y la mejora notable de las impresoras 3D ha sido posible la realización de nuevos proyectos, siendo estos más accesibles al usuario y facilitando la producción y generación de creaciones ya sean experimentales o personales. Es una herramienta que se puede utilizar para usos educativos, mejorando la interacción entre el estudiante y sus ideas creativas, de esta forma se puede plasmar a la realidad obras que quizá años atrás no hubiera sido posibles llevarlas a cabo.

Actualmente existen multitud de sistemas y equipos de medida e instrumentación para la medida de calado o caudal para ensayos de laboratorio o medidas in situ en el campo, para muchos de ellos se necesita un elevado presupuesto para ser adquirirlos y asimismo muchos son específicos solo para proporcionar datos de una variable. Además de requerir sistemas externos para poder recoger, almacenar lecturas o poder visualizar los resultados a tiempo real.

La idea principal del presente trabajo es el desarrollo de herramientas low-cost para la medición de calado en el canal hidráulico situado en el *Laboratori d'Hidràulica* de la *Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals y Ports de Barcelona*. Se iniciará el estudio con varias pruebas in-situ en el canal, cambiando las condiciones de contorno y analizando los resultados obtenidos.

Para llevar a cabo el estudio primeramente se hizo un análisis general de los distintos instrumentos que existen actualmente para el cálculo del calado en un canal o río, analizando las características y de esta forma poder conocer más detalladamente cuales son las carencias de cada uno y como poder solventarlas. De forma que el marco general de este proyecto es desarrollar un sistema de medida de calado a través de herramientas de fabricación digital.

Para la elaboración del proyecto se hace uso de Arduino, plataforma electrónica de código abierto, cuenta con Hardware y Software donde el entorno de desarrollo y su lenguaje son sencillos de usar, con la necesidad de tener una base de programación elevada. Otro de los programas utilizados es Processing, permitiendo generar una animación del canal hidráulico simulando un sistema de partículas fluyendo por el agua. Asimismo se hizo uso de impresora 3D, y de otros software como Fritzing y FreeCAD.

Señalar que el trabajo realizado se ha procedido de forma que los resultados obtenidos son experimentales, se hicieron las distintas calibraciones y validaciones de los sensores, se estudiaron primero individualmente en zonas externas al canal, una vez conocidos y comprobado que los códigos funcionaban se actuó en el Laboratorio. Es decir, se han hecho verificaciones de los resultados pero no dejan de ser valores empíricos.

ABSTRACT

In recent years the use of digital manufacturing tools has increased, with the apparition of fablabs and the major improvement of 3D printers, it has been possible to realize new projects, being these more accessible to the user and facilitating the production and the generation of creations weather experimental or personal. It's a tool that can be applied in educational purposes, improving the interaction between the student and his creative ideas, applying this method they can bring to life ideas that years ago would have not been possible to carry them out.

There are currently many systems and measuring equipment and instrumentation for the measurements of draught or flow for laboratory tests or measures in situ in the field, for many of them it takes a high budget to be acquiring them and many are also specific only to provide a variable data. In addition to requiring external systems to collect, store readings or visualize the results in real time

The main idea of this work is the development of low cost tools for the measurement of draught in the hydraulic canal located at the *Laboratori d'Hidràulica* of the *Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals y Ports de Barcelona*. Se start the study with several tests on-site in the channel, changing boundary conditions and analyzing the results obtained.

To carry out the study a general analysis was done to the different equipment that actually exists for the measuring of draught canal or rivers, analyzing the characteristics to have a deeper and detailed analysis to know each characteristic and how to solve any issues. As this project is to create a measurement system of draught using digital tools.

For making the Project is utilized Arduino, electronic platform of open code, relies on with Hardware and Software where the environment of development and it's language are simple to use, without needed to have a base of high programming. Other of the used program is Processing, allowing to generate animations of the hydraulic channel, simulating a particle system flowing for the water. In addition, one made use of printer 3D, other software as Fritzing and FreeCAD.

Point out that the work has proceeded in such a way that the results obtained are experimental, became different calibrations and validations of the sensors, they studied first individually in areas external to the channel, once known and proven that the codes worked he performed in the laboratory. I.e. verifications of the results have been made but never cease to be empirical values

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	iii
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1. 1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Generales	3
1.2.2. Específicos	3
1.3. Metodología	4
1.4. Razón de ser	5
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	7
2.1. Introducción	7
2.2. Medición del caudal en el canal	8
2.2.1. Velocidad y sección	8
2.2.2. Método volumétrico	10
2.2.3. Método hidráulico (estructuras hidráulicas).....	12
2.2.4. Calibración de compuertas.....	16
2.2.5. Flotador	17
2.2.6. Estaciones limnimétricas y limnigráficas.....	17
2.2.7. Método ultrasónico (acústico)	18
2.3. Evolución de las herramientas de fabricación digital.....	19
2.3.1. Simulación	20
2.3.2. Laboratorio remoto.....	22
2.3.3. Comparación entre una simulación, un laboratorio remoto y ensayos reales	23
2.3.4. Ejemplos de software y ejemplos de uso	23
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	26
3.1. Introducción	26
3.2. Lugar donde se procede el ensayo.....	26
3.2.1. Características del canal	27
3.3. Soporte físico utilizado (Hardware).....	28
3.3.1. Sensor infrarrojo	28
3.3.2. Sensor de ultrasonido	31

3.3.3. Soporte del sensor	33
3.3.4. Presupuesto.....	34
3.4. Programas utilizados (Software)	35
3.4.1. Arduino.....	35
3.4.2. Processing.....	39
3.4.3. FreeCAD.....	40
3.4.4. Fritzing.....	40
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO	42
4.1. Introducción	42
4.2. Dispositivos del ensayo, canal hidráulico.....	42
4.3. Estudio de los sensores	44
4.3.1. Sensor de distancia por infrarrojo.....	45
4.3.2. Sensor de distancia por ultrasonido.....	47
4.3.3. Comparación con las pruebas realizadas previas del estudio en el canal	49
CAPÍTULO 5: SISTEMA DE PARTÍCULAS	50
5.1. Introducción	50
5.2. Programación del sistema	52
5.2.1. Programa principal	52
5.2.2. Particle.....	53
5.2.3. ParticleSystem.....	54
5.3. Visualización del Sistema de Partículas.....	55
CAPÍTULO 6: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO.....	58
6.1. Introducción	58
6.2. Sensor de proximidad por infrarrojos	58
6.2.1. Primera lectura.....	60
6.2.2. Segunda lectura.....	61
6.2.3. Tercera lectura	62
6.2.4. Cuarta lectura.....	62
6.2.5. Comparación de resultados	63
6.3. Sensor de distancia por ultrasonido.....	63
6.3.1. Primera prueba	66
6.3.2. Segundo prueba	68
6.3.3. Tercera prueba	69
6.4. Comparación de resultados.....	70

6.5. Comparación entre el sensor infrarrojo y el sensor ultrasónico.....	71
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	72
7.1. Generales	72
7.2. Objetivo del ensayo practico.....	73
7.3. Futuras líneas de investigación	74
REFERENCIAS.....	75
ANEXOS	77
ANEXO 1. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Infrarrojos	78
ANEXO 2. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Infrarrojos	79
ANEXO 3. Datasheet del sensor de distancia por Infrarrojos.....	80
ANEXO 4. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Ultrasonidos.....	84
ANEXO 5. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Ultrasonidos.....	86
ANEXO 6. Datasheet del sensor de distancia por ultrasonidos.....	87
ANEXO 7. Código Processing para recibir los datos del sensor de distancias por Ultrasonido ..	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canal hidráulico	8
Figura 2. Variación de la velocidad en una sección transversal de un canal.	9
Figura 3. Molinete universal para la medición de caudal. Fuente: OTT Hydramet	10
Figura 4. Chorro vertical, la expresión que se use depende de H.....	12
Figura 5. Partes del aforador Parshall, arriba sección de planta, abajo sección de perfil	13
Figura 6. Sección longitudinal de un vertedero	14
Figura 7. De izquierda a derecha, vertedero sin contracción, vertedero con contracción, vertedero triangular.....	14
Figura 8. Medición de flujo utilizando placa de orificio..	15
Figura 9. Esquema de una compuerta..	16
Figura 10. Medición del caudal mediante el método del flotador.	17
Figura 11. Esquema de un limnómetro.	18
Figura 12. Esquema de medidor por ultrasonidos. Arriba, instalación en V y Abajo, instalación en Z.....	19
Figura 13. El fondo, el imán y el disco generador de señal que utilizan para la simulación por ordenador	24
Figura 14. Estructura offshore usando un "Potential Flow Solver"	25
Figura 15. Relación de la distancia con la tensión. Fuente: Datasheet del sensor.	28
Figura 16. Sensor de proximidad por infrarrojos. Modelo: SHARPGP2Y0A21YK.....	29
Figura 17. Variabilidad de las distancias, a la izquierda tiempos de recogida de datos de 1 min con delay y a la derecha tiempo de recogida de datos de 10s sin delay	30
Figura 18. Errores absolutos de la calibración del sensor.....	30
Figura 19. Sensor de distancia por ultrasonidos, modelo: HC-SR04.	32
Figura 20. Creada con el Serial Plotter de Arduino..	33
Figura 21. Partes que componen la placa Arduino	36
Figura 22. Pantalla principal de Arduino (Software)..	38
Figura 23. Pantalla principal de Processing.....	39
Figura 24. Pantalla con la muestra de la pieza impresa a 3D.....	40
Figura 25. Pantalla principal de Fritzing, con él se han realizado los diagramas del proyecto	41
Figura 26. Primera estación de estudio, colocación del sensor infrarrojo en el cilindro.	43
Figura 27. Estación de estudio en el centro del canal, utilización de la pieza impresa en 3D para sujetar el sensor de distancia por ultrasonidos	44

Figura 28. Esquema de funcionamiento del sensor infrarrojo. Fuente: elaboración propia.	45
Figura 29. Parte del código del sensor infrarrojo.....	46
Figura 30. Esquema funcionamiento del sensor de distancia por ultrasonidos..	47
Figura 31. Pulsos que emite y recibe el sensor ultrasónico	48
Figura 32. Ilustración de las lecturas con el sensor.....	49
Figura 33. Se interactúa con los dos Softwares, Arduino y Processing.....	50
Figura 34. Imagen de una escena de la película "Star Trek II" simulando un sistema de partículas.....	51
Figura 35. Parte parcial del código empleado para la generación del Sistema de Partículas.....	52
Figura 36 Parte del código para la generación de una partícula individual.....	53
Figura 37. Parte del código para tratar las partículas como un sistema.....	54
Figura 38. Como se organiza el Software Processing.....	55
Figura 39. Una primera simulación del Sistema de Partículas.	56
Figura 40. Animación de la simulación del Sistema de Partículas con un cierto tiempo transcurrido.....	57
Figura 41. Visión general del Laboratorio. Estación de estudio con el sensor de proximidad por infrarrojos.....	59
Figura 42. Visión general del canal hidráulico. Estación de estudio con el sensor de distancia por ultrasonido.....	65
Figura 43. Esquema general de la línea que sigue el Trabajo	72

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Lecturas durante un minuto, estación aguas arriba del vertedero	60
Gráfica 2. Lecturas sin delay durante 10s, estación aguas arriba del vertedero	61
Gráfica 3. Lecturas durante un minuto, estación aguas arriba del vertedero	62
Gráfica 4. Lecturas sin delay, estación agua arriba del vertedero	62
Gráfica 5. Altura del canal, usado para la calibración del sensor	64
Gráfica 6. Calibración del sensor, lecturas recogidas con delay	64
Gráfica 7. Estación en el centro del canal, primera prueba	66
Gráfica 8. Distancias de calado registradas en un minuto	67
Gráfica 9 Datos de calado sin delay con un tiempo de recogida de diez segundos.....	67

Gráfica 10. Aumento del caudal en el canal.....	68
Gráfica 11. Lecturas del calado cuando el canal se ha estabilizado.....	69
Gráfica 12. Disminución del caudal, retroceso del frente.....	69
Gráfica 13. Calado estabilizado, volviendo a las condiciones de inicio.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto del proyecto.....	34
Tabla 2. Datos recogidos con el sensor infrarrojo.....	63
Tabla 3. Resumen de los valores medios del calado	70

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este Trabajo de fin de grado consiste en, desarrollar herramientas de medición de distancias de lámina de agua, utilizando Software y Hardware de código abierto.

La finalidad es, comprobar la fiabilidad de poder medir la distancia con sensores, la lámina de agua de un canal hidráulico, usando Software y Hardware libres, con microcontroladores de bajo coste como Arduino o Processing, que permiten desarrollar herramientas de forma sencilla y al mismo tiempo económicos.

Añadir que este Trabajo está orientado al estudio de caracterizar parámetros del flujo de agua, en este caso se centra en un canal de Laboratorio, pero podría ser posible realizarlo en estudios del terreno, cálculos de humedad del suelo, aguas subterráneas o superficiales entre otros. Con los conceptos aprendidos, solo se necesitaría modificar los sensores utilizados y el código para proceder a nuevos estudios en el campo.

El canal de estudio situado en la Escuela que pertenece al Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de fluidos, actualmente disponen de dos bombas de distinto caudal, y no hay una forma precisa para poder medir el caudal que fluye por el canal, a causa de las fluctuaciones del agua provocadas por el oleaje que puede haber. Por esta razón se propuso comparar los resultados con nuevas herramientas más actuales y de bajo coste, muchas de las herramientas utilizadas en el laboratorio implican un alto presupuesto económico y aun así no son fiables en su totalidad.

De las diferentes formas que existen para poder medir el flujo de agua que pasa por el canal, de tal manera que los resultados tengan una relación de precisión con el presupuesto de estas herramientas, existen sistemas de creación de instrumentos a través de microcontroladores Arduino. Esta plataforma de prototipado en abierto permite desarrollar aplicaciones con buenos resultados, bajo coste y un rendimiento aceptable.

Además, este hardware está en desarrollo e investigación, pero es una herramienta que está al alcance de los estudiantes y da opción a trabajar en laboratorios con un

1. INTRODUCCIÓN

presupuesto limitado permitiendo desarrollar grandes proyectos. De este modo se intenta motivar a los estudiantes a participar en proyectos que quizá antes no hubieran podido desarrollar.

Además se ha trabajado con Processing, también es un Software libre diseñado para poder desarrollar arte gráfico y animaciones a tiempo real, aprovechando los datos recogidos a través de los sensores y que son procesados por Arduino se generará a tiempo real una simulación del canal donde se procede realizar el estudio. De este modo se crea una relación entre los dos software, al mismo tiempo que también hay una interacción entre la interfaz y el usuario.

A lo largo del trabajo se explicarán por capítulos la metodología que se ha aplicado, los códigos detallados y explicados, modificaciones que se han realizado para poder realizar las prácticas al laboratorio como los resultados y conclusiones que se obtuvieron.

Mencionar que también se ha utilizado la impresora 3D, instalada recientemente en la Escuela, se hizo un prototipo de una pieza para poder sujetar en el canal uno de los sensores.

Señalar que el trabajo realizado ha sido de una forma dinámica, la ventaja de trabajar con programas libres y códigos abiertos es que te brinda la oportunidad de aprovechar aplicaciones o ideas de gente que ha trabajado en temas parecidos y poderlos modificar, mejorar ayudando a incrementar la gran librería de programas y códigos que tienen tanto Arduino como Processing. Trabajar de esta forma, didácticamente enriquece ya que se aprende desde cero y además al ser de programación sencilla, al utilizar estos programas se ven resultados inmediatos, pudiendo consultar la librería o los foros de los mismos sitios web.

Se pretende dar una nueva visión de la realización de proyectos, basado en identificar las necesidades que nos plantea el proyecto y buscar las soluciones para dar las respuestas del problema planteado. Se diferencia de proyectos realizados en el aula por su feedback que existe entre el usuario y los programas, a diferencia de los trabajos tradicionales que tratan de adquirir previamente unos conocimientos y luego aplicarlos en casos prácticos. Este sistema de plantear primero el problema se basa en promover, investigar y evaluar distintas metodologías de cómo resolver necesidades que se puedan plantear.

1. INTRODUCCIÓN

1.2. Objetivos

1.2.1. Generales

Estudiar los distintos métodos de medida de caudal en el canal hidráulico ubicado en el *Laboratori d'Hidràulica* de la *Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona* (ETSECCPB) mediante nuevas herramientas *low-cost*.

- Se analizarán y estudiarán los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas.
- Se compararán los valores de las lecturas finales obtenidos a través de los distintos sensores.
- Además de desarrollar los programas y códigos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Teniendo en cuenta los principales objetivos de este trabajo, cabe destacar hasta qué punto han alcanzado las nuevas tecnologías en aplicaciones usadas a efectos de ingeniería.

1.2.2. Específicos

A parte de los objetivos señalados previamente se nos plantean objetivos más específicos relacionados con el aprendizaje de generar programas para los sensores de distancia, hacer una animación simulando un sistema de partículas que podrían fluir por el canal y como se ha tenido que modificar estructuralmente el canal para poder realizar las pruebas.

- Medir distancias de calado con sensores de proximidad: Habrá dos puntos de estudio en el canal, uno aguas arriba del vertedero triangular y otro en el centro del canal. La primera estación se usará el sensor de proximidad por infrarrojos, en la segunda estación de estudio se utilizara el sensor de distancia por ultrasonidos.
- Como registrar todos los datos obtenidos por los sensores: Se obtendrá un gran número de lecturas y deberán analizarlos.

1. INTRODUCCIÓN

- Modificaciones estructurales en el canal: El canal deberá adaptarse a los sensores, para que estos puedan funcionar correctamente y poderles sacar el máximo de rendimiento. Se hará uso de la impresora 3D para fabricar un elemento necesario para la sujeción de uno de los sensores.
- Para completar el trabajo aprovechando los datos de entrada del sensor, se desarrolla una animación con Processing de una simulación a tiempo real de un sistema de partículas.

1.3. Metodología

Para el desarrollo del Trabajo se utilizarán diferentes plataformas de código abierto como es Arduino y se complementara con una animación generada con el programa Processing, además de hacer uso de la impresora 3D para imprimir piezas de soporte para el sensor.

Asimismo se realizaran varias pruebas en el laboratorio cambiando las condiciones de contorno, analizando el comportamiento de los sensores, se hará una calibración previa de los sensores para conocer los rangos de su máxima eficiencia.

Para poder hacer el desarrollo del proyecto se han seguido unas pautas, con el fin de poder cumplir los objetivos explicados anteriormente. Se han distribuido por capítulos de tal forma que facilita el entendimiento del trabajo realizado tanto de aprendizaje como en el laboratorio.

Empezando por una introducción donde se describen los principales objetivos que se pretenden cumplir con el trabajo realizado, se dividen en generales y específicos. Del mismo modo se hace una valoración de la intención principal de llevar a cabo este estudio.

En el capítulo 2, se nombra como estado del arte, como bien describe el nombre se hace una breve introducción de la importancia que tiene el concepto de caudal y la relevancia de conocer su valor. Se detallan distintos métodos de medición de caudal, desde los más tradicionales hasta más modernas. Además de una introducción en el campo de la programación, haciendo énfasis en la importancia que hay hoy en día como ingeniero saber realizar simulaciones y hacer prácticas en laboratorios. Asimismo se hace referencia a los nuevos métodos de enseñanza – aprendizaje que se utilizan en la actualidad en escuelas de Ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 3, se describen las herramientas utilizadas, como primer punto se expone el lugar de ensayo y posteriormente se definen dos puntos importantes, ya que son la base del proyecto. Uno es el soporte físico utilizado, es decir, el Hardware, como serán los sensores de distancia por infrarrojo y ultrasonido, además de la utilización de la impresora 3D que se utilizó para fabricar el soporte de uno de los sensores. Por otro lado se detallan los programas utilizados, se explicara su funcionamiento y que aplicación han tenido en el proyecto, softwares como, Arduino, Processing, FreeCAD y Fritzing.

En el capítulo 4, se describe el ensayo y los cambios que se realizaron en el laboratorio. Se tuvo que sintonizar el canal con los distintos instrumentos utilizados, los sensores, de forma que primeramente se explica donde se colocan los sensores en el canal y las variaciones que se tuvieron que hacer para que los sensores funcionaran correctamente. Seguidamente se analizan los sensores, como se llevaron a cabo las pruebas realizadas y la preparación de los sensores.

En el capítulo 5, se introduce el sistema de partículas, realizado con Processing. Paralelamente al estudio de los sensores en el canal se propuso hacer una animación de un sistema de partículas fluyendo por el canal. De esta forma se permite interactuar de manera visual los datos recogidos con los sensores y el usuario.

En el capítulo 6, se analizan las pruebas realizadas a lo largo del canal, se diferenciarán en dos sub-apartados, por un lado el sensor de proximidad por infrarrojos y por el otro el sensor de distancia por ultrasonidos.

En el capítulo 7, se hace una visión general del proyecto describiendo las conclusiones que se han obtenido a lo largo del estudio y que puntos se pueden mejorar.

1.4. Razón de ser

La idea para la realización de este trabajo surgió debido a conocer las nuevas herramientas *low-cost*. Aprovechando que gracias a este fenómeno que está en alza estos últimos años se pueden desarrollar conceptos teóricos aprendidos en las aulas a proyectos reales.

Hasta hace pocos años lo que podría catalogarse como impensable, es que cada estudiante pudiera hacer sus propios experimentos o prácticas en el laboratorio con su propio kit, a consecuencia de los elevados precios de las herramientas necesarias para elaborarlos. De este modo la realización de nuevos proyectos queda a mano de cada uno para poderlos llevar a cabo.

Este proyecto de final de grado pretende presentar un nuevo método de trabajo, en la investigación de como poder obtener datos de lectura a tiempo real sin la necesidad de

1. INTRODUCCIÓN

un elevado presupuesto ni de instrumentos específicamente fabricados solo para esta función.

De esta manera se introduce una de las mayores ventajas de trabajar en proyectos con herramientas *low-cost*, no son necesarios grandes presupuestos para generar ideas con instrumentos reales, por lo que es un buen método para países subdesarrollados o que no disponen de grandes recursos tecnológicos. Añadir que son de código abierto, por lo que facilitará su uso además de ser basado en hardware y software flexibles, de manera que gente que no tenga mucha experiencia en programación podrá utilizarlos. En apartados siguientes se describe más detalladamente.

En definitiva, con el proyecto se intenta crear una nueva herramienta de medida de distancia que sea al alcance de todos. Cabe decir también que es un estudio experimental por lo que significa que los resultados son empíricos.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

Desde hace miles de años los humanos han dependido de los recursos hídricos, por consecuencia, hay la necesidad de cuantificar la cantidad de agua que se utiliza, por ejemplo, para poder satisfacer las necesidades de consumidor.

En este apartado se introducen de una forma generalizada los distintos métodos que existen para poder medir el caudal y la altura de la lámina de agua en canales hidráulicos.

Para empezar se deberá tener claro el concepto de caudal o flujo de agua y se explicarán algunas tecnologías para medirlo en canales. Se analizarán los conceptos básicos de la medición y las características, ventajas e inconvenientes de los instrumentos del cálculo del caudal.

En los siguientes apartados se mencionan diferentes técnicas de medición, como puede ser método de velocidad y sección, método volumétrico, método hidráulico, calibración de compuertas, flotador, estaciones limnimétricas y limnigráficas o el método ultrasónico.

Se analizarán diferentes métodos para calcular el flujo de agua por el canal, comparando y evaluando las ventajas e inconvenientes de cada uno.

Primeramente cabe destacar el concepto de hidrometría, tiene como objetivo medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en unidad de tiempo.

Se le da tal importancia al cálculo del caudal o medición del flujo de agua que pasa por el canal para poder conseguir un mejor uso, distribución y control de los recursos hídricos que requerimos.

Asimismo mencionar que la medición del caudal en el canal puede ser de manera continuada y permanente o de forma puntual e instantánea, dependerá de la calidad y cantidad de datos de caudal necesarios para el estudio hidrológico. En instalaciones,

2. ESTADO DEL ARTE

para realizar mediciones continuas de calado se utilizarán estaciones medidoras (limnimétrica) o estaciones registradoras (limnigráficas), en las puntuales se realizaran las mediciones en momentos determinados cuando se quiera conocer la magnitud del flujo de agua en ese instante.

Para medir el caudal hay una gran heterogeneidad de herramientas y técnicas, en el siguiente punto se citarán algunos de los métodos más comunes y utilizados los últimos años para la estimación del caudal de un canal.



Figura 1. Canal hidráulico

2.2. Medición del caudal en el canal

Se necesitará diferenciar en métodos directos, medida continua complicada de satisfacer por razones de realización y métodos indirectos, medir variables auxiliares que van relacionadas con el cálculo del caudal.

2.2.1. Velocidad y sección

Este método es directo y uno de los más utilizados. Como se ha dicho anteriormente el caudal es la cantidad de agua que atraviesa una sección por unidad de tiempo y en este apartado el cálculo se hace integrando un volumen diferencial en el tiempo obteniendo un flujo uniforme, el caudal en el canal, resumiendo queda como el producto de la velocidad de agua por la sección de paso.

$$Q = v * A \quad [1]$$

2. ESTADO DEL ARTE

Donde:

Q = Caudal o flujo de agua (m^3/s)

v = Velocidad media del agua en la sección de estudio (m/s)

A = Área de la sección de estudio (m^2)

La velocidad se podrá obtener a partir de métodos directos como pueden ser la utilización del molinete o el flotador o también por métodos indirectos utilizando fórmulas.

Teniendo en cuenta las velocidades admisibles en el canal, se deben limitar tanto la velocidad mínima como la velocidad máxima.

- Si la velocidad es muy baja provocará que haya decantación de los sólidos en suspensión que pueda llevar el agua.
- Si la velocidad es alta podría provocar erosión en los márgenes del canal y cambiar la sección de este, sucederá en canales erosionables donde si tendrá relevancia tenerlo en cuenta.

La velocidad también depende de otros factores, algunos ejemplos podrían ser la sección transversal, el rozamiento, la viscosidad.

La velocidad tiene diferente distribución en una sección del canal dependiendo de la geometría de este. Por lo que analizamos que la velocidad de un canal no son uniformes, aproximadamente la velocidad máxima se encuentra a 0,2 de la superficie libre y va disminuyendo conforme aumentas la profundidad, hasta que llegas aproximadamente a 0 m/s en contacto con la base del canal.

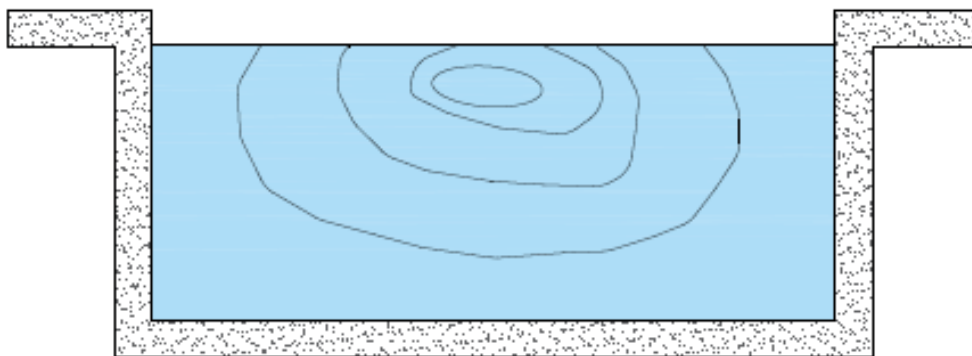


Figura 2. Variación de la velocidad en una sección transversal de un canal. Fuente: elaboración propia

2. ESTADO DEL ARTE

- Medición de la velocidad con MOLINETE.

El principio básico para calcular la velocidad con molinete es suponer que en un punto concreto con corriente se coloca el molinete. La velocidad de rotación será proporcional a la velocidad de la corriente. Para el cálculo se contarán el número de revoluciones en un tiempo conocido, el molinete debe estar situado en la misma dirección que la corriente del agua.

Como se ha citado anteriormente la velocidad dependerá de la localización en sección del molinete y se deberá considerar las vibraciones que afectaran al funcionamiento del aparato y dar errores en los resultados.



Figura 3. Molinete universal para la medición de caudal. Fuente: OTT Hydramet

2.2.2. Método volumétrico

Para el cálculo de caudales generalmente pequeños el método volumétrico es la forma más sencilla, se trata de una medición directa que trata de conocer el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido.

Para el cálculo de caudales generalmente pequeños, este método es el más sencillo, se trata de un método directo y para el cálculo solamente se precisa de un recipiente de volumen conocido, de esta manera conociendo el volumen y calculando el tiempo que se tarda en llenar el recipiente se podrá conocer el flujo de agua que transcurre por el canal. El cálculo del caudal se representa con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{V}{T} \quad [2]$$

2. ESTADO DEL ARTE

Donde:

Q = Caudal o flujo de agua (m³/s)

V = Volumen (l)

T = Tiempo (s)

Para la ejecución del cálculo se desviará el flujo hacia un canal secundario donde se descargará el agua en el recipiente de volumen conocido cronometrando el tiempo de llenado. Cuando el tiempo de llenado es de pocos segundos el tiempo se medirá con presión, como en la mayoría de métodos se estimará la media de varias repeticiones del procedimiento anteriormente descrito.

Si el canal secundario se colocase de manera que la descarga de agua diese lugar a un flujo de agua vertical ascendiente, la altura que alcanzase el flujo de agua seria proporcional al caudal del canal con las siguientes expresiones. Asimismo cabe diferenciar entre dos casos, se utilizarán dos expresiones distintas dependiendo de la altura de la descarga de agua.

- El primer caso: con altura de descarga baja (**H** < 0.4 **D**)

$$Q = 5.47D^{1.25}H^{1.35} \quad [3]$$

- El segundo caso: la altura de la descarga es elevada (**H** > 1.4 **D**)

$$Q = 3.15D^{1.99}H^{0.53} \quad [4]$$

- En el caso: 0.4 **D** < **H** < 1.4 **D**; se calculara con las dos expresiones anteriores y se tendrá en cuenta la media entre ambas.

Donde:

Q = Caudal (m³/S)

D = Diámetro del canal/cañería (m)

H = altura de la descarga (m)

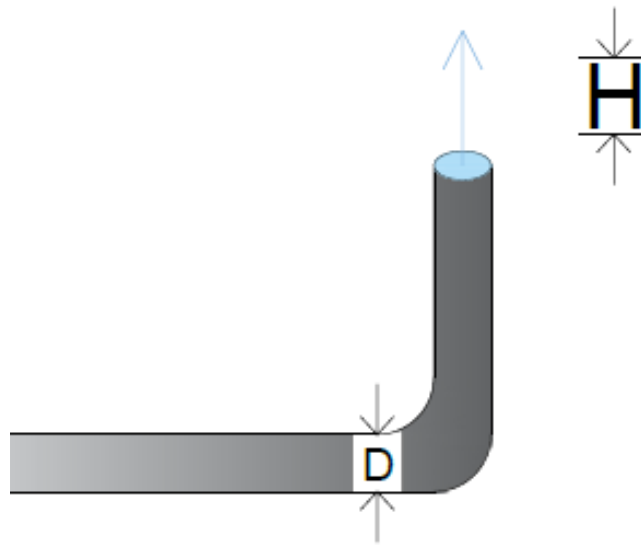


Figura 4. Chorro vertical, la expresión que se use depende de H. Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Método hidráulico (estructuras hidráulicas)

Como métodos indirectos se requieren estructuras construidas expresamente para la determinación de la medición del flujo del canal. La diferencia de presión o de velocidad en distintos puntos de una sección transversal determinada, con los resultados obtenidos se realiza el cálculo del caudal medio del canal. Estas estructuras se nombran medidores o aforadores, están ubicadas in situ en el lugar de estudio y su diseño está basado en principios hidráulicos de orificios, vertederos y secciones críticas, para las cuales el caudal se obtiene a partir de la altura de la lámina de agua h.

Por consecuencia se obtiene una relación directa del caudal en función de la altura:

$$Q = f(h)$$

Un claro ejemplo de método hidráulico es el canal de aforo Parshall. La patente de este método fue posible gracias al conocimiento de expresiones y teorías fundamentales de la comprensión del comportamiento de los fluidos que desarrollaron nombres como Venturim, Manning, Bernoulli, etc...

El funcionamiento del canal de aforo Parshall es una adaptación del principio de Venturi en hidrodinámica de canales abiertos. Se cambia el régimen de flujo del canal de sub-crítico a supercrítico, añadiendo un estrechamiento de la sección y un levantamiento en el fondo del canal, la modificación de régimen viene acompañada con una pérdida de energía mínima, como consecuencia de una geometría que enlaza en la entrada un estrechamiento (sección convergente), en la sección media se estrecha y en la salida un ensanchamiento (sección divergente).

2. ESTADO DEL ARTE

La relación matemática entre el caudal y el calado en una situación de descarga libre es:

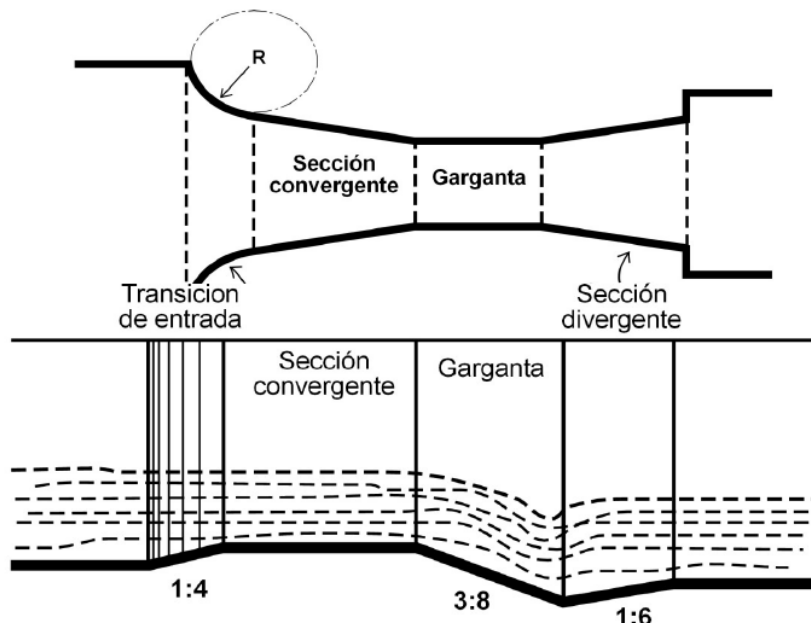
$$Q = c * (H_a)^n \quad [5]$$

Donde:

Q = Caudal (m³/S)

c ; n = coeficientes que dependen de las características del canal

H_a = calado en el punto de estudio (m)



*Figura 5. Partes del aforador Parshall, arriba sección de planta, abajo sección de perfil
Fuente: J.M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pag.477*

Hay que diferenciar entre aforadores y vertederos. Ambas estructuras son construcciones in situ en el canal pero los aforadores son estructuras tipo canal y los vertederos modifican el nivel de calado aguas arriba.

Es un método distinto pero también indirecto, se caracteriza por ser una abertura en el canal sobre las cuales se desliza el flujo de agua.

Esta técnica también es una de las más utilizadas y antiguas que existen para mediciones de caudales en canales, principalmente usados para corrientes pequeñas, pueden tener distintas formas y dependerá de ello la expresión matemática del cálculo del caudal. Se

2. ESTADO DEL ARTE

necesitan unas características básicas para que un vertedero se pueda utilizar como tener una descarga libre sobre la sección crítica con el fin de que el caudal sea proporcional a la profundidad de la corriente en el vertedero.

Como se ha dicho anteriormente hay distintos tipos de vertederos, sumergidos o ahogados, de pared delgada o ancha, con abertura en V o rectangular.

Como expresión matemática genérica se tiene la siguiente:

$$Q = K L H^n \quad [6]$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

K ; n = Coeficientes (adm)

L = Longitud de cresta (m)

H = Tirante de agua (m)

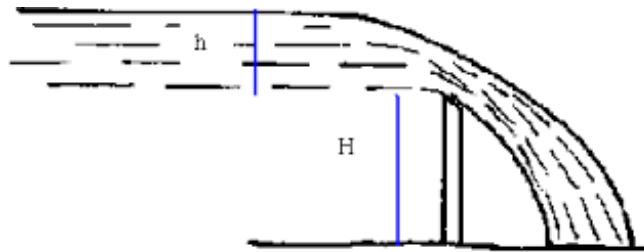
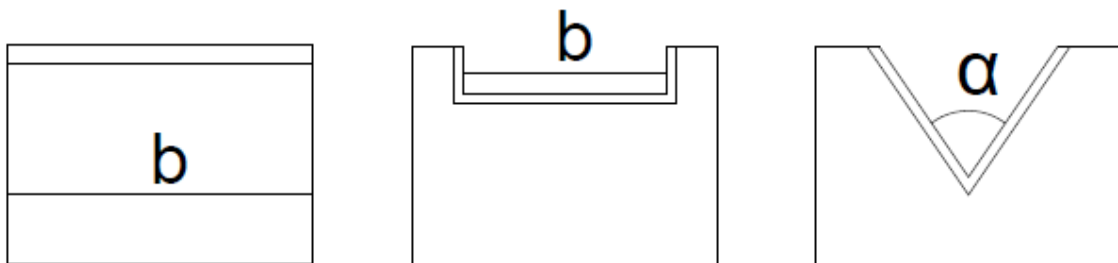


Figura 6. Sección longitudinal de un vertedero



*Figura 7. De izquierda a derecha, vertedero sin contracción, vertedero con contracción, vertedero triangular.
Fuente: elaboración propia.*

Otro ejemplo son los orificios, es una de las técnicas más antiguas, su diseño fue planteado para la medición de gases, pero por su bajo coste fue ampliado en la

2. ESTADO DEL ARTE

utilización del cálculo de medición de flujos en una tubería, con el inconveniente que su precisión que no es muy exacta.

Esta técnica se utiliza para provocar una pérdida de carga adicional en la red, se coloca la placa de orificio en el interior de la tubería ocasionando una diferencia de presión estática entre ambos lados de la placa.

La relación matemática que como resultado nos proporciona el caudal es:

$$Q = C_d A \sqrt{2g\Delta P} \quad [7]$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C_d = coeficiente de descarga (adm)

A = Área del orificio (m²)

g = Gravedad (m/s²)

ΔP = Caída de presión en el orificio (m)

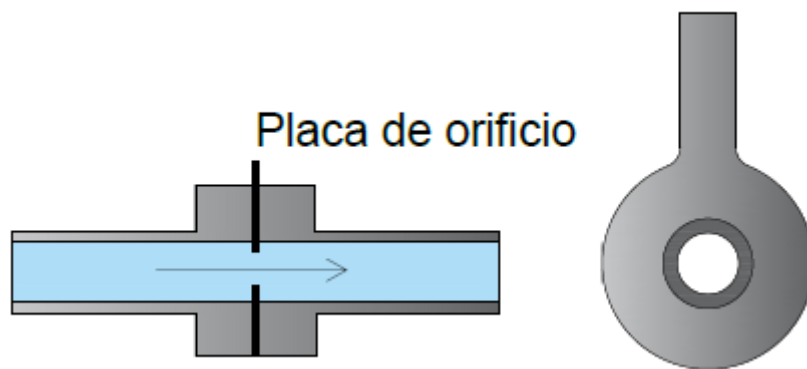


Figura 8. Medición de flujo utilizando placa de orificio. Fuente: elaboración propia.

Asimismo hay otro método que se debe mencionar es el método con medidores en régimen crítico, son también estructuras hidráulicas o puntos de control donde el flujo a superficie libre obliga el establecimiento de un régimen crítico, permitiendo establecer una relación proporcional entre la descarga y la profundidad, es decir, entre el caudal y el calado.

2. ESTADO DEL ARTE

Sabiendo la ecuación del estado crítico: $\frac{\alpha F^2}{\cos^2 \theta} = 1$

De este modo se puede despejar el caudal quedando la expresión matemática siguiente:

$$Q = \sqrt{\frac{2g}{\alpha}} A (E_0 - y \cos^2 \theta)^{1/2} \quad [8]$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

α = Coeficiente de Coriolis

A = Área de la sección transversal (m²)

g = Gravedad (m/s²)

E₀ = Energía específica (m)

y = Calado (m)

θ = Angulo medio de la pendiente del canal respecto la horizontal (°)

2.2.4. Calibración de compuertas

Primero de todo definir el término de compuerta, esta descrita como, placa fuerte que se desliza por un carril colocada en canales, presas o diques para graduar o cortar el paso del agua. Esta estructura tiene las mismas características hidráulicas que los orificios.

Hay distintos tipos de compuertas y su clasificación dependerá de las condiciones físicas, hidráulicas climáticas y de operación. Se pueden dividir en varios grupos según las condiciones de flujo aguas abajo, el tipo de operación o funcionamiento por el que se precisa, las características geométricas y según el mecanismo de izado.

A modo del tipo de compuerta las expresiones matemáticas para la medición del caudal varían.

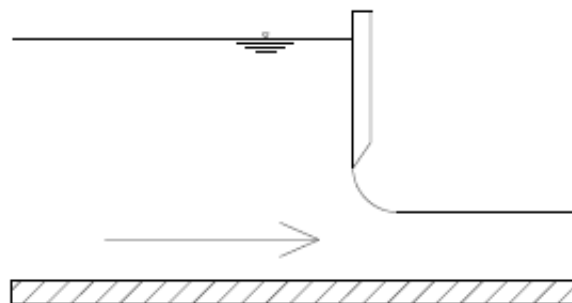


Figura 9. Esquema de una compuerta. Fuente: elaboración propia.

2. ESTADO DEL ARTE

2.2.5. Flotador

Método de aforo por flotadores, es una técnica realizada in situ, sencilla y rápida. Se caracteriza este método por el cálculo de la velocidad superficial de la corriente en un canal con una distancia conocida entre dos puntos de referencia A y B (figura 10), utilizando materiales visuales y que floten. Por otro lado el factor calculado es la velocidad en la lámina libre del canal y su imprecisión por no poder controlar la trayectoria del objeto, por lo que el error cometido en el cálculo del caudal se amplifica. Para utilizar este método se deberá realizar en tramos rectos y con pocas turbulencias.

El proceso del cálculo se efectúa con la medición del tiempo que tarda en recorrer la distancia deseada, haciendo esta operación en distintos tramos del canal.

Este método actualmente es poco utilizado en mediciones donde se quiere poco error por su inexactitud en los resultados.

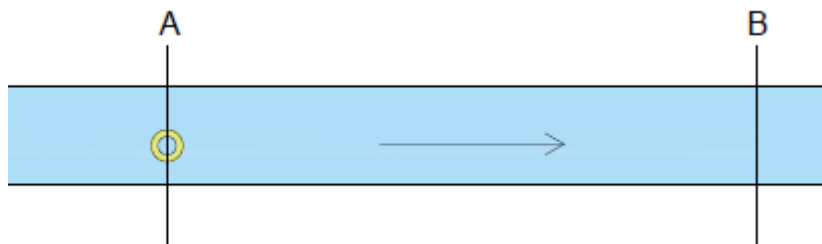


Figura 10. Medición del caudal mediante el método del flotador. Fuente: elaboración propia

2.2.6. Estaciones limnimétricas y limnigráficas

El limnómetro es un instrumento que permite medir la altura de agua en un punto determinado, la medida de la altura se puede convertir en estimación del caudal del canal gracias a una curva de calibración.

Consiste en una escala graduada, que se instala verticalmente en el fondo del canal en un punto donde haya buena visibilidad para poder obtener las lecturas lo más precisas posibles. La lectura tomada nos proporcionará que altura hay de la base a la lámina de agua. Como se ha dicho anteriormente con este método las lecturas se hacen de manera manual.

- Con un régimen de flujo laminar el agua se desplaza en capas paralelas sin corrientes cruzadas y el movimiento de las partículas de agua es ordenado

2. ESTADO DEL ARTE

desplazándose en línea recta paralela a la base del canal, por lo que la estimación de la altura será bastante exacta ya que no habrá oleaje en la superficie del agua.

- Con un régimen de flujo turbulento se caracteriza por tener cambios a lo largo del canal, provocando movimientos de las partículas del agua aleatorios, variación rápida de la presión y velocidad en espacio y tiempo, el flujo de agua será caótico y desordenado. Por consecuencia de estos factores medir la altura de la lámina de agua se nos complica en nuestro caso de estudio.

En definitiva se observa que este método tiene inconvenientes cuando hay efectos de oleaje y variaciones del nivel del agua por turbulencias, entonces para medir la altura de la lámina de agua y permitir hacer el cálculo del caudal no es preciso, es decir, inexacto si queremos conocer el caudal que fluye por el canal en tiempo real. Se podrá sacar una lectura media.

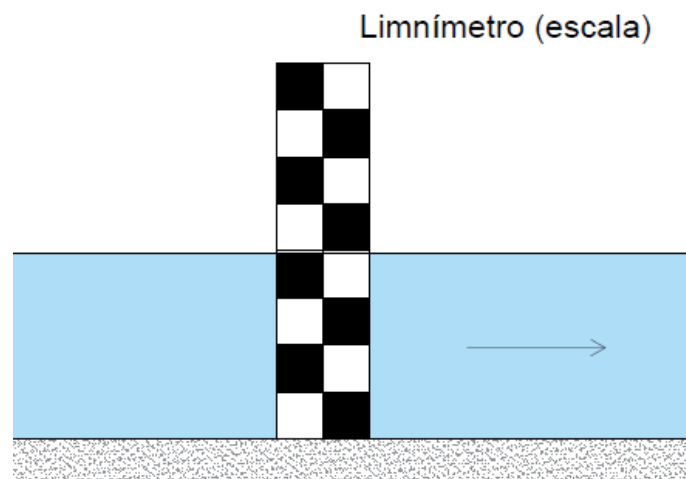


Figura 11. Esquema de un limnómetro. Fuente: elaboración propia

2.2.7. Método ultrasónico (acústico)

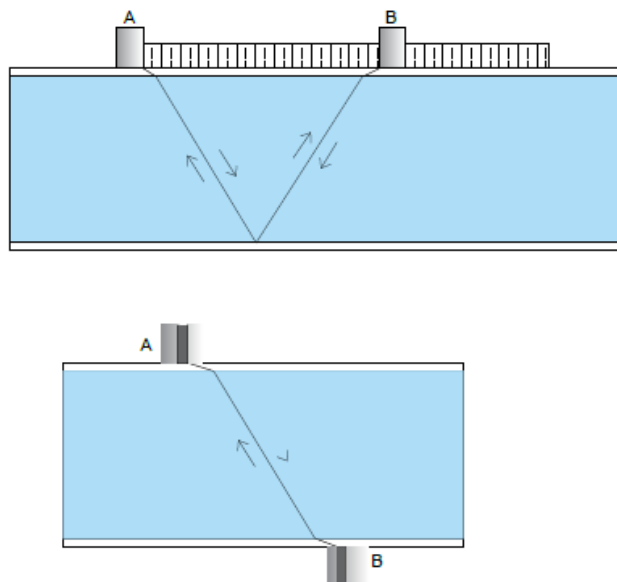
Asimismo existen métodos más modernos como es el caudalímetro ultrasónico, esta técnica calcula la velocidad del caudal mediante ultrasonidos. El caudal vendrá dado por el método de medición de caudal de efecto Doppler.

Algunas ventajas destacables del presente procedimiento son que no ocasionan pérdida de carga, no son intrusivas, el rango de medición es muy amplio (dependerá de la calidad del sensor) entre otras.

2. ESTADO DEL ARTE

Su funcionamiento tiene la base del efecto Doppler, empleando el cambio de frecuencia de una señal ultrasónica reflejada en la lámina de agua. Es el efecto que se produce cuando un frente de ondas se refleja en un objeto en movimiento, provocando un cambio en la frecuencia de las ondas sonoras emitidas por el sensor. Se requerirán dos sensores, uno que emita la onda de ultrasonidos a una cierta frecuencia y otro que sea el receptor de la onda reflejada. Entonces la variación de frecuencia será directamente proporcional a la velocidad del fluido.

Los medidores ultrasónicos no obstruyen el flujo, por lo que no hay pérdida de carga y serán los más utilizados en tuberías de grandes dimensiones, es un método no intrusivo ya que no se precisa de tuberías de derivación ni válvulas de aislamiento. Su precisión variara dependiendo del coste del sensor, pero cabe realzar su fácil instalación reduciendo los costes de mantenimiento y por su funcionamiento, sin pérdida de carga, también reduciendo los costes energéticos.



*Figura 12. Esquema de medidor por ultrasonidos. Arriba, instalación en V y Abajo, instalación en Z.
Fuente: elaboración propia*

2.3. Evolución de las herramientas de fabricación digital

Un ingeniero tiene la función de manipular materiales, energía e información y con esto crear beneficios para los usuarios que lo necesiten, para que esto se cumpla con éxito deben tener un conocimiento de la naturaleza que va más allá de la mera teoría, es decir, son necesarios unos conocimientos que tradicionalmente se obtienen en laboratorios educativos.

2. ESTADO DEL ARTE

La naturaleza de los laboratorios ha sufrido unos cambios evolucionando a mejor, los avances tecnológicos en herramientas de fabricación digital han llegado a los estudiantes de ingeniería de forma que ha modificado el sistema de Educación y de cómo se proceden las prácticas en el Laboratorio, abriendo nuevas puertas e incrementando el aprendizaje online y la cooperación entre estudiantes.

Cuando se habla de grados de ingeniería hay una parte destacable que son las partes de laboratorio, lugar donde se aplican los conceptos teóricos aprendidos en el aula y se desarrollan creando nuevos proyectos. Los conceptos teóricos son adquiridos por el estudiante con la materia dada en clase o por bibliografía proporcionada por el profesor, sin embargo los conceptos prácticos y la realización de proyectos solo son posibles adquiriéndolos haciendo prácticas en el Laboratorio.

Hasta hace unos años era impensable que cada alumno de la Escuela pudiera realizar prácticas en el Laboratorio con sus propias herramientas. Hoy en día la posibilidad de realizar más prácticas se ha amplificado, estos ejercicios se pueden enfocar en dos situaciones:

- Simulaciones, equivalentes al laboratorio físico, explicando y reforzando los conceptos teóricos.
- Laboratorios remotos, permitiendo trabajar con equipos e instrumentación real a distancia a través de internet.

El inicio de estos dos enfoques fue en la década de los 80/90 se desarrollaron equipos “inteligentes” especialmente vinculados con dispositivos de medición con ordenador. Conectándolo a un sistema de prueba, el equipo recopila datos, los analiza y representa gráficamente, con el tiempo ha sido utilizado para medir, registrar puntos de estudio recogiendo datos. Esto ha dado a los usuarios de las herramientas de fabricación digital, más concretamente a los que utilizan las simulaciones la habilidad para analizar sistemas mucho más complejos y hacerlo con una mayor profundidad. A partir de ese momento las escuelas investigaron la posibilidad de realizar experimentos de control remoto. Poco tiempo después se empezaron a ver los primeros experimentos desarrollados a través de internet utilizando navegadores Web y JavaApplets.

2.3.1. Simulación

Edwin Link en 1928 desarrolló el primer programa de simulación, enfocado como simulador de vuelo, utilizado para entrenar a los pilotos militares antes y después de la segunda guerra mundial (WWII). Actualmente las simulaciones se utilizan en cantidad de industrias relacionadas con la aviación, química, petróleo, nuclear entre otras.

En la década de los 80/90 se desarrollaron equipos “inteligentes” especialmente vinculados con dispositivos de medición con ordenador. Conectándolo a un sistema de

2. ESTADO DEL ARTE

prueba, el equipo recopila datos, los analiza y representa gráficamente, con el tiempo ha sido utilizado para medir, registrar puntos de estudio recogiendo datos. Esto ha dado a los usuarios de las herramientas de fabricación digital, más concretamente a los que utilizan las simulaciones la habilidad para analizar sistemas mucho más complejos y hacerlo con una mayor profundidad. A partir de ese momento

Programas especializados, por ejemplo, Elementos Finitos (FEM), herramientas de análisis estructural, el distinto software de análisis y diseño han revolucionado el desarrollo de la simulación en proyectos de ingeniería. La enseñanza de la ingeniería con estos cambios presenta un principal objetivo, convertir los laboratorios reales a laboratorios virtuales, la simulación se ha convertido en una herramienta vital en sustitución del laboratorio físico.

Las simulaciones a ordenador como entornos de aprendizaje, es decir, laboratorios virtuales, son una excelente alternativa a los laboratorios físicos convencionales. Las ventajas de trabajar con estos sistemas es que son educativas y a la vez atractivas gracias a su portabilidad, fácil uso y rentabilidad. Por otro lado el entorno de la simulación, los conocimientos prácticos y experiencia adquirida depende de la autenticidad, las limitaciones y capacidades del software.

Algunos de los usos por los que se utiliza la simulación son principalmente:

- Ayudar a los usuarios de la simulación a dar una idea previa con la experiencia en el laboratorio de lo que puede ser el experimento real, familiarizándose con el experimento, mejorar habilidades y poder ser capaz de predecir los resultados antes de realizar el experimento real.
- Suplente de las prácticas en un laboratorio físico. Utilizado para evaluar y comparar las simulaciones con un laboratorio tradicional. Facilitando la captación de conocimientos teóricos si primero se hace un ensayo con una simulación y posteriormente realizar las prácticas en un laboratorio real.
- Substitución cuando el sistema que se debe estudiar es peligroso, de elevado presupuesto o de grandes dimensiones y no es práctico para un laboratorio educativo.

Asimismo cabe destacar algunas de las desventajas que tiene el uso de las simulaciones para la experimentación:

- La simulación no es un sustituto para un verdadero experimento, el software representa un modelo matemático de un sistema real, pero no proporciona resultados reales.

2. ESTADO DEL ARTE

- Usuarios acostumbrados a utilizar simulaciones pueden ignorar los procedimientos de Seguridad, ya que el laboratorio a través de simulación no son considerados.
- La simulación no es un experimento real, por lo que cuando el usuario vaya al laboratorio puede ser menos hábil a la hora de manejar el equipo real.
- La simulación está restringida por parámetros.

En estos últimos años se ha conseguido nuevos avances en este campo, tanto en programación como en tecnología gráfica, significando la mejora de las simulaciones, siendo posible que se tratarán a través de laboratorios de simulación 3D. De esta forma el laboratorio virtual permite no sólo analizar un parámetro concreto sino explorar otras pruebas, que son más difíciles de llevar a cabo en laboratorios reales. La desventaja de esta mejora es que el coste del diseño y el desarrollo es relativamente más elevado en 3D que en 2D.

2.3.2. Laboratorio remoto

Los ejercicios prácticos son esenciales para desarrollar habilidades de cómo aplicar el conocimiento teórico en problemas del mundo real. Las simulaciones no prevén parámetros o circunstancias reales, por lo que se deberán utilizar dispositivos reales y ejecutar comandos en herramientas verdaderas para coger habilidades prácticas.

Los laboratorios remotos deben cumplir con dos necesidades, por un lado proporcionar las experiencias pertinentes a las prácticas y a la vez que estén conectadas las herramientas que se deben utilizar con el ordenador. El sistema se basa en un ordenador con acceso a internet permitiendo enviar los comandos deseados, pasando por un servidor y ejecutando el experimento en el laboratorio físico, los equipos asimismo conectados a la red, los resultados serán transferidos de nuevo al ordenador donde se visualizarán.

Estos laboratorios tienen varios usos, algunas aplicaciones pueden ser:

- Laboratorios compartidos: Si el equipo es costoso, se podrá compartir espacio y acceder al equipo a través del laboratorio remoto.
- Laboratorio local: Establecer un laboratorio remoto que se pueda acceder a través de internet para realizar experimentos en cualquier momento, pudiendo re-hacer experimentos realizados anteriormente.

2. ESTADO DEL ARTE

- Laboratorio a distancia: Usado para usuarios que estén lejos de los equipos reales.
- Laboratorio de revisión técnica: Permitiendo probar un sistema particular directamente de un escritorio.

Un ejemplo de laboratorio remoto es PERLA (*Practical Experimentation by Accesible Remote Laboratory*), que desarrolló un sistema flexible, permitiendo a estudiantes llevar a cabo experimentos reales a distancia.

2.3.3. Comparación entre una simulación, un laboratorio remoto y ensayos reales

La elección para escoger qué tipo de laboratorio se pretende usar, depende del objetivo educativo del experimento al que se quiera proceder. Si se quiere experimentos relacionados con software y electrónica Ingenieril es más idóneo utilizar la simulación, por otro lado si se pretende hacer experimentos de control es conveniente hacerlo con los laboratorios remotos. Estos últimos pueden llegar acercarse bastante a los ensayos reales, al contrario, las simulaciones difieren bastante de la realidad. Sin embargo las simulaciones son más realistas cuando se trabajan en laboratorios 3D, no obstante los laboratorios remotos dependerán de la calidad de imagen que tenga el ordenador con el que se trabaje.

Hoy en día, las simulaciones a ordenador no pueden sustituir completamente los estudios en laboratorios físicos, la práctica con experimentos. Aunque la simulación aumenta en potencia y eficiencia con los años, hay que seguir trabajando y mejorando. Se pone de ejemplo la simulación de vuelo en pilotos, es una valiosa experiencia poder hacer las prácticas con simulaciones pero hay factores y parámetros externos que las simulaciones aun no las incluyen y en realidad se deberían tener en cuenta. Por este motivo es un gran avance pero aun en desarrollo.

2.3.4. Ejemplos de software y ejemplos de uso

Un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) o *Virtual Learning Environment (VLE)* es el espacio físico donde se desarrollan las nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza – aprendizaje, proporcionando facilidades en el seguimiento del profesor a los estudiantes, analizando las actividades realizadas o los documentos a los que se ha accedido. Otras herramientas que han aparecido estos últimos años son programas para realizar grabaciones de pantalla o vídeos con demostraciones de software, por ejemplo Camtasia, que permite guardar videos o capturar un video de la pantalla del usuario.

2. ESTADO DEL ARTE

Como software libre, destacado y utilizado para realizar experimentos en la Escuela, se usa MATLAB. Estos programas de simulación crean una sólida base en el entorno de simulación de laboratorios de ingeniería, utilizado para ilustrar fenómenos complicados y complicados de visualizar, como por ejemplo, el flujo de corriente, campo electromagnético entre otros. Permite diseñar y construir un modelo, enviarlo al programa de simulación y poder determinar las características del diseño, la salida normalmente es gráfica. Asimismo añadir la hoja de cálculo Excel, que en ambos programas se utilizan para crear base de datos. Son programas que se pueden vincular con otro software para que les envíe las lecturas, valores o datos de los resultados obtenidos y con Excel o MATLAB crear graficas o simulaciones.

Otros programas para desarrollar simulaciones de fenómenos físicos, por ejemplo, Adobe Flash, Maple, HTML5, Javascript, algunos de ellos son programas predeterminados de los ordenadores actuales.

Se presenta a continuación, la simulación por ordenador de varios ejemplos que se han realizado con herramientas de fabricación digital.

- Simulación de las ondas estacionarias en una cuerda vibrante:

Se utilizaron aplicaciones como Inkscape (editor de gráficos vectoriales de código abierto) y Gimp (programa de edición de imágenes digitales, programa libre)

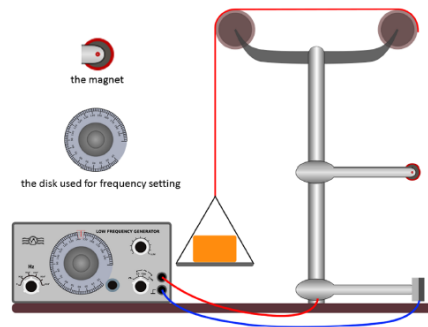


Figura 13. El fondo, el imán y el disco generador de señal que utilizan para la simulación por ordenador. Fuente: Radinschi, I., Fratiman, V., Ciocan, V. y Cazacu, M. M. (2017). *Interactive Computer Simulation for Standing Waves*.

- Estructuras oceánicas:

Estructuras costeras u oceánicas en general se han basado principalmente en el criterio de la experiencia, incluyendo un tratamiento tradicional. Hoy en día, esto sigue siendo cierto hasta cierto punto, pero la clara ventaja de la evolución tecnológica es poder disponer de la experiencia virtual y la simulación numérica, que están causando un cambio radical cuando se aplica en el campo de la Arquitectura Naval y la Tecnología Oceánica.

2. ESTADO DEL ARTE

El proyecto está especificado en estructuras offshore, son plataformas en aguas profundas que carecen de acceso directo desde tierra firme, permaneciendo inmóviles dentro del océano gracias a técnicas muy precisas y estudiadas, ya que estas estructuras deberán soportar todo tipo de cambios meteoroceánicos.

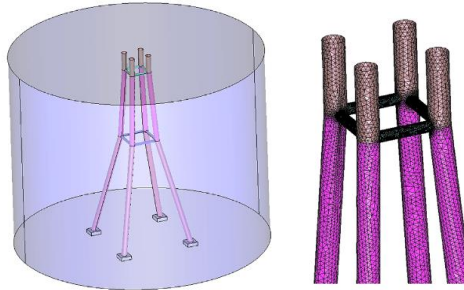


Figura 14. Estructura offshore usando un "Potential Flow Solver". Fuente: Gutiérrez, J., Zamora, B. y Esteve, J. (2016). *Acquisition of Offshore Engineering Design Skills on Naval Architecture Master Courses Through Potential Flow CFD Tools*

Para desarrollar el proyecto se utilizaron herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) que constituye una parte importante del proceso de aprendizaje operacional. El código de CFD utilizado, SeaFEM desarrollado por *CompassIS Company*, es un conjunto de herramientas para el análisis del efecto de olas, viento y corrientes en estructuras navales y oceánicas, así como para estudios de maniobrabilidad.

Entrando en materia del este Trabajo se introducen dos herramientas de fabricación digital que están en desarrollo actualmente, Processing y Arduino, han sido elegidos como software y combinaciones de hardware para la realización de este proyecto, puesto que se está incrementando su uso en proyectos de la Escuela y por su naturaleza de código abierto de ambos. Asimismo, el entorno de desarrollo integrado (IDE) es muy parecido en ambos.

CAPÍTULO 3: **DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

3.1. Introducción

Con lo descrito en los apartados previos, en este apartado se pretende describir las herramientas utilizadas en el proyecto práctico. En los últimos años la tecnología en la ingeniería civil ha evolucionado notablemente, esta revolución informática no significa que se hayan perdido los métodos clásicos pero si ha provocado un progreso en ellos, mejorando y prosperando en nuevas técnicas que proporcionan mejores resultados y algunos de ellos con menor coste y más asequibles.

En este proyecto se procura dar otra técnica de mediciones de caudales con resultados rigurosos y de fácil desarrollo.

A continuación se explica la zona de estudio donde se conduce el ensayo, el soporte físico utilizado así como los programas empleados. Se tratará de ilustrar de un modo sencillo el rendimiento de la fabricación digital, con la comodidad de la utilización de software libre y demostrando que con un presupuesto limitado se pueden crear nuevas técnicas de medición.

3.2. Lugar donde se procede el ensayo

El canal de estudio tuvo lugar en el laboratorio del DEHMA, *Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental*, ubicado en el edificio D1 del Campus Nord de la UPC. A continuación se detallaran las instalaciones del laboratorio, las condiciones del trabajo y los elementos utilizados para llevar a cabo el proyecto.

Los ensayos se realizan en el canal citado anteriormente, se caracteriza por ser un canal de pendiente variable utilizado para realizar experimentos de hidráulica y mecánica de fluidos.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.2.1. Características del canal

La longitud del canal es de 20 metros con una anchura de 0.60 metros constante a lo largo de todo el recorrido. Los laterales son de cristal, por los cuales se permite observar el comportamiento del flujo de agua en su interior y posibilitar el estudio de la circulación del agua.

El canal está formado por un circuito de agua cerrado, que se va reutilizando. En la parte inferior del laboratorio hay un depósito almacenaje que mediante dos bombas de capacidad máxima de 60l/s bombean el agua al canal. Una vez el agua entra en circuito pasa por dos compuertas que a su vez permiten regular con más exactitud el caudal que tiene que entrar por el canal, seguidamente se conduce hacia un vertedero triangular.

La expresión matemática que se conoce para calcular el caudal que hay en el canal es:

$$Q = 1.366 * \gamma^{5/2} \quad [9]$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

γ = Calado (m)

El calado viene dado por la siguiente expresión:

$$\gamma = H - 0.089 \quad [10]$$

Donde:

H = Altura medida en el limnómetro que hay en un cilindro que se comunica con el depósito aguas arriba del vertedero.

A continuación del vertedero se prolonga el canal en sí, al final de este hay una compuerta que proporciona una condición de contorno aguas abajo. Seguidamente hay una caída libre de pocos metros a una zanja utilizada para debilitar la energía que podría llevar el canal y así reconducir el agua de nuevo al depósito situado en la parte inferior del laboratorio.

Uno de los objetivos de este proyecto es mejorar y poder medir con más precisión la altura del calado aguas arriba del vertedero triangular.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.3. Soporte físico utilizado (Hardware)

Para la obtención de los parámetros necesarios para realizar los diferentes ensayos se han utilizado varios tipos de sensores, que en apartados posteriores se mostraran los resultados y sus respectivas comparaciones y limitaciones.

El primer concepto que se tendrá en cuenta como soporte físico en este proyecto es el significado de sensor, puesto que es una parte fundamental entender su actividad y relevancia del trabajo realizado. Un sensor es un dispositivo electrónico capacitado para detectar acciones externas (físicas) y transformarlas en otra magnitud que se pueda cuantificar.

Existen muchos tipos de sensores, pero para este proyecto se han utilizado el sensor infrarrojo y otro de ultrasonido. En este apartado se explicarán con detalle las características de ambos.

3.3.1. Sensor infrarrojo

El sensor utilizado se caracteriza como sensor de proximidad por infrarrojos de Sharp, modelo GP2Y0A21YK.

Su funcionamiento se basa en proporcionar a la salida un voltaje que varía en función de la distancia a la que se encuentra el objeto detectable. Según su hoja de características su rango de detección es precisa de 10 cm a 80 cm, está formado por un led infrarrojo y dispone también de un detector de posición, con un procesador que se encarga de realizar la transformación de los voltios de salida a medida de distancia. El sensor tiene la capacidad de escanear los objetos que tiene enfrente de forma continuada y conectado a un Arduino de forma analógica disponer de los resultados de distancia medidos en tiempo real.

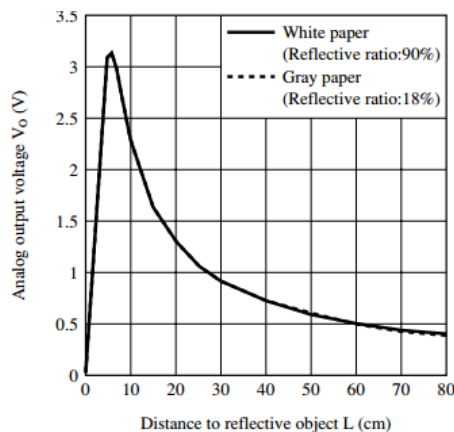


Figura 15. Relación de la distancia con la tensión. Fuente: Datasheet del sensor.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

El gráfico no es lineal, se tendrá que tener en cuenta que para un mismo valor de tensión haya dos posibles distancias posibles. La solución a este problema será asegurándose de que el sensor no mida distancias inferiores a 10 cm.

En general este proyecto se basa en realizar las mediciones en el laboratorio de una manera sencilla, este dispositivo alcanza un nivel de fácil uso tanto en su programación con Arduino como a la hora de conectarlo y trabajar con él.



Figura 16. Sensor de proximidad por infrarrojos. Modelo: SHARPGP2Y0A21YK. Fuente: imagen google.

A continuación se pretende mostrar la práctica realizada en el laboratorio con este sensor, es decir, su calibración.

3.3.1.1. Calibración del sensor

Para la correcta calibración del sensor, el primer paso es recolectar los datos del sensor, seguidamente analizar la variabilidad. Se estudiarán los datos recogidos en dos condiciones de contorno distintas.

El primer estudio se realizará en el laboratorio de estructuras con el sensor midiendo de forma horizontal orientado hacia un tablero perpendicular a este. El segundo se ejecutará en el canal hidráulico colocando el sensor en el lugar del limnómetro ubicado aguas arriba del vertedero.

Para el primer caso y poder estudiar la variabilidad, se examinó como cambiaban los datos dependiendo de la distancia y su velocidad en la que se recogían los datos (delay).

Cuando se hace referencia al delay, es la función que hace una pausa en el programa durante un tiempo determinado (en milisegundos).

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Los datos se recogen en dos fases, una durante 60 segundos un dato cada segundo (con delay) y otra durante 10 segundos sin delay. Se repite este proceso cada 10 cm de intervalo hasta los 80cm, que es el rango de fiabilidad que indica el fabricante.

En esta parte se comprueba la precisión del sensor al variar la distancia del objeto, las pruebas se hicieron en presencia de unas estudiantes que tenían que hacer un trabajo de la asignatura de probabilidad, el objetivo fue analizar la variabilidad del sensor observando y estudiando los resultados obtenidos. A continuación se mostraran las conclusiones del trabajo.

Se utilizaron modelos de probabilidad como, Boxplot, Bartlett test, Kolmogorov-Smirnov, Kruskal-Wallis y Test t-student.

Con la recogida de datos se analiza la variabilidad de estos, observando que a medida que se aumenta la distancia los datos van fluctuando más, a partir de mediciones de distancia superior a 40 cm sean menos fiables. En ambas fases se concluyen los mismos resultados.

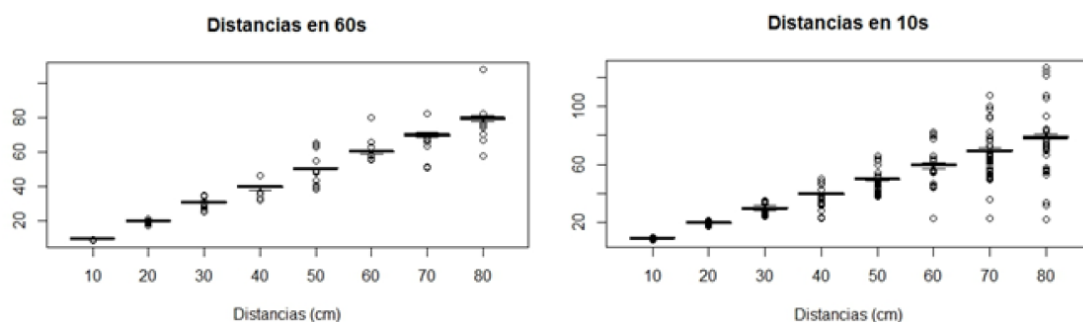


Figura 17. Variabilidad de las distancias, a la izquierda tiempos de recogida de datos de 1 min con delay y a la derecha tiempo de recogida de datos de 10s sin delay

Si se observan los errores absolutos y no en las distancias, se confirma la anterior conclusión, donde la variabilidad de los resultados aumenta proporcionalmente con el aumento de la distancia. Tener en cuenta que aunque el estudio se hace con o sin delay, la variabilidad de los datos recogidos es menor con delay, aunque su fiabilidad sigue decreciendo al aumentar la distancia, reafirmando lo anteriormente dicho.

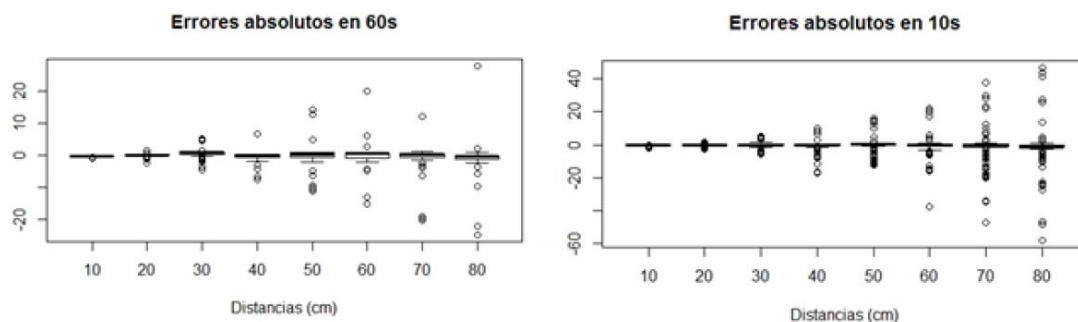


Figura 18. Errores absolutos de la calibración del sensor

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Se concluye que la muestra varía mucho para afirmar que la media de las distancias obtenidas es igual a la distancia real. Aunque los resultados expresen una baja fiabilidad, no representa que sea fallo del sensor ya que hay interferencias externas que afectan a la lectura del sensor, como puede ser la tonalidad o brillo del objeto que es medurado.

El segundo análisis realizado en el canal se explica en el apartado 4.2.1, en este caso el sensor mide en orientación vertical hacia una pieza flotante (corcho) para que las ondas del infrarrojo rebotasen y no incidieran en el agua.

3.3.2. Sensor de ultrasonido

Otro de los sensores utilizados, es el sensor de distancia por ultrasonidos, modelo HC – SR04.

Su funcionamiento tiene la misma base que un radar, enviando pulsos ultrasónicos de alta frecuencia, está constituido por dos piezoeléctricos, un receptor y un transmisor, ambos cilíndricos. El transmisor emite una señal que será rebotada recibiendo el cilindro receptor. El cálculo de la distancia es directamente proporcional al tiempo que tarda en llegar la señal desde que es emitida hasta que regresa al receptor.

Asumiendo que la velocidad a la que se emite la señal es de 340m/s, con la ecuación de velocidad:

$$v = \frac{2 * d}{t} \quad [11]$$

Donde:

v = Velocidad (m/s)

d = distancia (m)

t = tiempo (s)

La expresión matemática que responde a la distancia que hay desde el sensor hasta el objeto en cuestión es la siguiente:

$$d = 170 (m/s) * t \quad [12]$$

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Considerando la base de este proyecto cabe destacar que la relación precisión – coste es un sensor que da buenos resultados, su rango de medición es más amplio que el anterior, de 2cm a 5m, según la hoja de características.

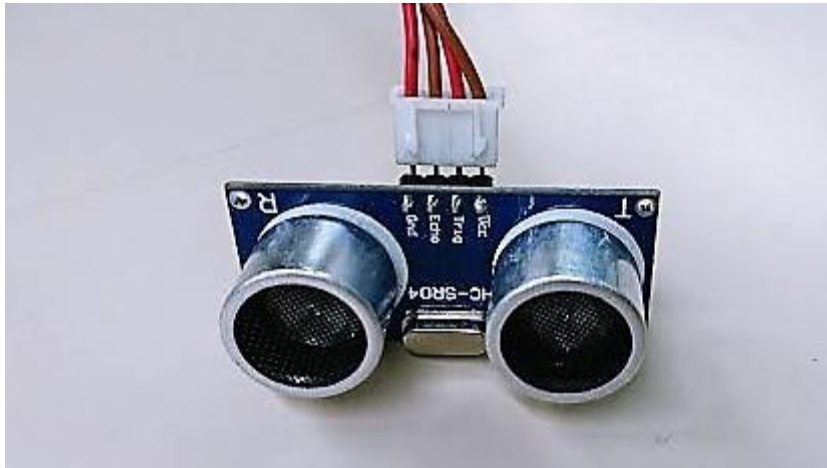


Figura 19. Sensor de distancia por ultrasonidos, modelo: HC-SR04. Fuente: elaboración propia.

Se tiene que tener en cuenta las diferentes fuentes de error que pueden distorsionar las ondas, algunos errores son de origen natural:

- La temperatura ambiente altera la velocidad de propagación del sonido en el aire. En el caso de estudio ubicado en el laboratorio la temperatura es constante por lo que en el proyecto no se verá afectado.

La expresión matemática que define la distancia, en este caso, con la variable dependiente de la temperatura es la siguiente:

$$d = (331,6 + 0,6 T) * \frac{t}{2} \quad [13]$$

Donde:

d = distancia (m)

T = Temperatura (°)

t = Tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción (s)

Al contrario que el sensor infrarrojo que el color del objeto interfería en la lectura de los datos, este sensor permite detectar todo tipo de materiales.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Asimismo estos sensores pueden medir distancias a objetos que estén en movimiento, aunque el objeto sea pequeño lo detecta a largas distancias, dentro del rango característico, pueden trabajar en ambientes húmedos y no es necesario el contacto entre el objeto y el sensor.

Para su calibración se hacen distintas pruebas en el laboratorio, como se observa a continuación con el gráfico es preciso y no hay grandes fluctuaciones del valor medio:

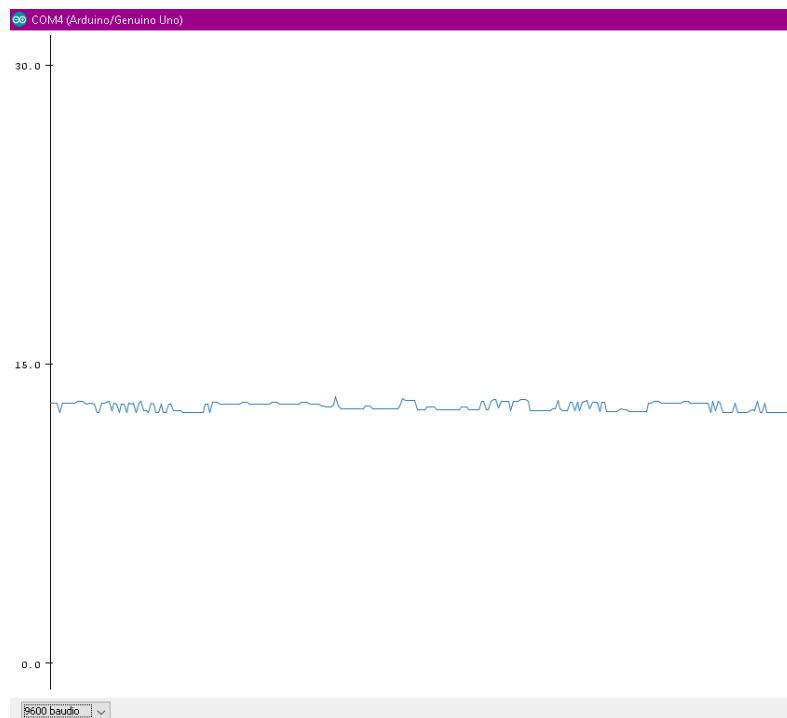


Figura 20. Creada con el Serial Plotter de Arduino. Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Soporte del sensor

En los últimos 30 años la técnica de la impresión 3D ha evolucionado significativamente en muchos ámbitos de la vida cotidiana, tanto en medicina, ropa e incluso comida. Para este proyecto se decidió utilizar esta técnica para hacer un soporte para el sensor ultrasónico ya que de un diseño sencillo y fácil, podía facilitar la sujeción en el canal.

La impresión 3D, permite crear objetos tridimensionales sólidos a partir de modelos digitales, posibilitando la elaboración de objetos personalizados y a medida del consumidor. El coste de las impresoras ha ido disminuyendo considerablemente permitiendo crear modelos más reducidos para el uso en el hogar.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Esta técnica proporciona ventajas que hace años no se hubiera podido imaginar, poder crear un modelo digital personalizado y adaptado a la necesidad del usuario, sin considerar la complejidad del objeto creado ya que la máquina imprime el diseño digital. La gran versatilidad de poder fabricar una pieza entera con una sola máquina y realizar múltiples copias, además de permitir cambiar el diseño digital, retocarlo o utilizar distintos materiales e imprimirlo sin cambiar de aparato. Con este sistema también se incluye la fabricación local, facilitando la producción del producto in situ, sin ser necesario su transporte, de esta manera se reducen los costes de producción y se eliminan los conceptos de almacenar y distribución. Asimismo esto provocará la disminución de la contaminación al no ser necesario el reparto y también se aminorará el uso de materias primas, ya que en la fabricación tradicional se constituye de una pieza donde se le sustraen capas hasta obtener el objeto deseado, por el contrario con la impresión 3D el objeto es generado añadiendo capas del material hasta tener la forma deseada.

3.3.4. Presupuesto

A continuación se hace una valoración general del presupuesto que se estima de la inversión realizada para la compra del material necesario para la realización del proyecto.

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO (€)	TOTAL (€)
Arduino UNO	2	19	38
Protoboard	1	12	12
Sensor Ultrasonido	1	3,5	3,5
Sensor Infrarrojo	1	15	15
Cable sensor infrarrojo	1	1,2	1,2
Conector USB	1	1,5	1,5
Cables módulo board	2	1,5	3
			74,2

Tabla 1. Presupuesto del proyecto

Comparando precios de distintas páginas web donde se pueden adquirir los distintos instrumentos de medida de caudal o caudal explicados anteriormente, se observa que los precios oscilan desde 100€ hasta 2500€ aproximadamente, dependiendo de la calidad de los aparatos. Se hace notar el objetivo de este proyecto, elaborar una herramienta de medida de caudal, que sea precisa, con lectura a tiempo real y además que sea low-cost.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.4. Programas utilizados (Software)

El objetivo de este apartado es describir e introducir los distintos softwares que se han utilizado a lo largo del proyecto. Por una parte hay los más destacados, que son aquellos que forman gran parte del proyecto, y por otro lado los que se han utilizado para la necesidad del buen desarrollo y trabajo del proyecto.

3.4.1. Arduino

Para este proyecto se ha utilizado una placa Arduino UNO, a continuación se introduce sus orígenes y como ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años en aplicaciones de ingeniería.

Arduino nació de un proyecto educativo en Italia en el año 2005, surgió por una necesidad de modernizar las herramientas que se disponían en aquel momento en el Instituto de Diseño Interactivo Ivrea, los estudiantes requerían un sistema más moderno, que fuera de fácil manejo y asimismo económico.

El microcontrolador de la placa se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo (basado en Processing), es decir, un entorno de desarrollo IDE. Processing es un lenguaje de código abierto, donde se pueden crear imágenes, animaciones e interacción usuario-código, es una herramienta visual donde la programación que se genera se refleja en un contexto visual. Por otro lado, Wiring es una plataforma igualmente abierta de prototipos electrónicos.

Las ventajas de trabajar con Arduino son que al utilizar sistemas totalmente libres da la libertad de entender e interpretar el Hardware y Software permitiendo desarrollar sistemas electrónicos fácilmente. Tanto su entorno como la programación no tienen complicación por lo que es sencillo aprender a utilizarlos, proporcionando una nueva herramienta como método de trabajo. Los diseños se pueden adquirir directamente de internet de forma totalmente gratuitos, es aquí donde el usuario puede modificarlos y cargar el software a la placa para hacer funcionar los microcontroladores.

En este trabajo se ha utilizado un Arduino UNO, de resolución 8 bits, fue la primera que salió en el mercado, pero actualmente en el mercado existen muchos modelos más y con mayor potencial, por ejemplo se podría haber utilizado un Arduino DUE, de resolución 32 bits, aportando una potencia de cálculo superior al UNO. Tiene una alta capacidad de procesamiento, además de mucha más memoria. Lo que no varía de uno al otro es el soporte de voltajes en intensidades es idéntica a UNO. Como interfaz es muy completo permitiendo multitud de posibilidades.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Se divide en dos partes importantes, por un lado tenemos Arduino como Hardware y por otro Arduino como Software.

3.4.1.1. Características técnicas. Arduino como Hardware.

Arduino UNO es una placa constituido por un microcontrolador de marca Atmel y todo el circuito de soporte incluyendo reguladores de tensión y un puerto USB permitiendo su conectividad con el ordenador.

Dispone de 14 pines de entrada o salida a los cuales se le pueden conectar dispositivos que sean capacitados para transmitir o recibir señales digitales de 0 a 5 voltios. Además de tener entradas y salidas analógicas, mediante las cuales se pueden obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje o enviar señales de control en forma de señales PWM.

3.4.1.2. Funcionamiento i descripción de las partes

Se utiliza el cable USB como método de alimentación además sirve para cargar el código necesario para el experimento.

Los pines en la placa Arduino es donde se conectan los cables del circuito. Hay distintos tipos de entrada, analógicas, digitales, entre otros. Cada uno diferenciado en la placa, utilizándolos para diferentes funciones.

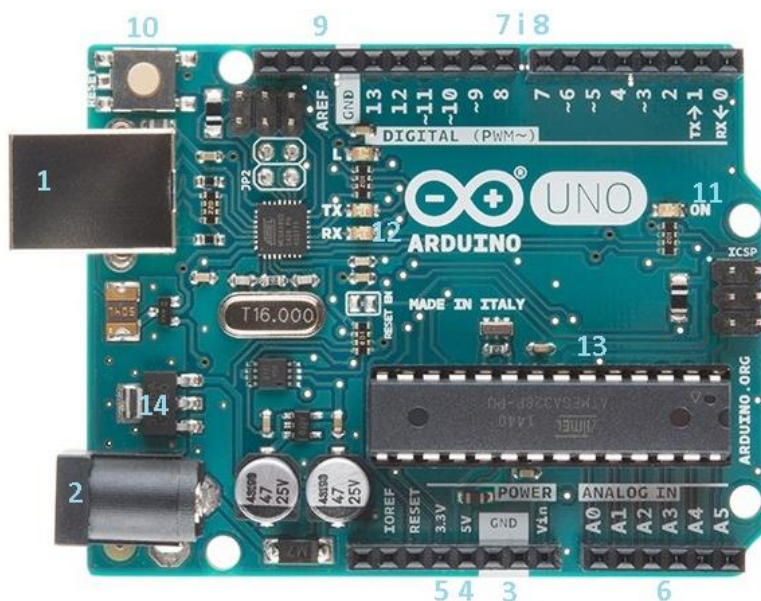


Figura 21. Partes que componen la placa Arduino. Fuente: elaboración propia

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

1. Potencia – puerto USB: Lugar de alimentación a través de un cable USB conectado a un ordenador o directamente a la corriente con un adaptador que no debe superar los 20 voltios. Asimismo por la conexión USB se cargará el código en la placa Arduino.

2. Conector de Adaptador: Otra manera para alimentar la placa Arduino con su respectivo adaptador.

3. Pines GND: Las letras GND es la abreviatura de tierra en inglés, hay dos pines GND, usados para conectar a tierra el circuito.

4 / 5. 5V y 3.3V: Suministros respectivamente de 5 y 3.3 voltios de potencia.

6. Pines analógicos: Nombrados del A0 al A5, son 6 pines de marco analógico. Permiten leer la señal de sensores analógicos y convertirlo en valores de marco digital.

7. Pines digitales: Numerados del 0 al 13, se usan para entrada de la señal digital (oprimir un botón) o para salida digital (encender un LED).

8. PWM: En alguno de los pines digitales hay el símbolo “~”. Actúan como los otros pines digitales con la diferencia que también pueden ser usados como Modulación por ancho de pulsos.

PWM (*Pulse-width modulation*) un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Usada en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica.

9. AREF: Soporte de referencia analógica. Utilizada también para establecer una tensión de referencia externa (entre 0 y 5 voltios).

10. Reinicio: Para reiniciar la placa Arduino se pulsa este botón de manera que se reiniciará el código que haya cargado en la placa.

11. Led de alimentación: Cuando la placa Arduino se conecta este led se enciende. Si en algún caso la luz no se encendiera es un primer indicio que algo no funciona correctamente.

12. RX / TX: respectivamente abreviaturas de transmisión y recibir. Indicadores de que la placa Arduino está recibiendo o transmitiendo datos.

13. Microcontrolador: Circuito integrado (IC), elemento programable que da la capacidad de interactuar con el dispositivo.

14. Regulador de Voltaje: Controla la cantidad de tensión de la placa Arduino.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.4.1.3. Software Arduino

Arduino cuenta con su propio IDE, “*IntegratedDevelopmentEnvironment*”, entorno de desarrollo sitio donde se podrán escribir los programas o aplicaciones para luego cargarlas al hardware Arduino y ejecutarlas. En el sitio web de Arduino se dispone de una amplia biblioteca de ejemplos y códigos que todos los usuarios pueden consultar y modificarlos a su necesidad.

Es un claro ejemplo de la interacción entre software y hardware. Poder plasmar unas ideas a un programa y poderlas generar de manera sencilla.

La estructura base para empezar a programar con Arduino es sencilla, son necesarias dos funciones. Una es el “*setup()*” y otra es el “*loop()*”, la primera se encarga de la configuración, donde estarán declaradas las variables que se utilicen, se ejecutará una sola vez al inicio de abrir el programa y en la segunda es donde está el contenido del programa que se ejecutará en bucle.

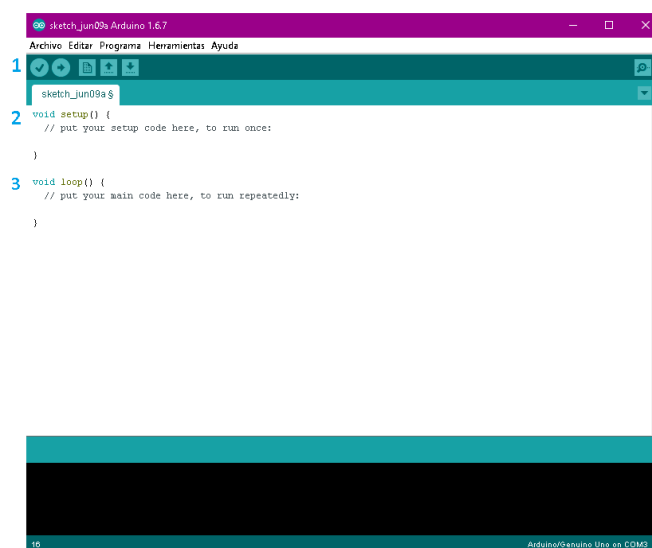


Figura 22. Pantalla principal de Arduino (Software). Fuente: elaboración propia.

Partes principales al iniciar el software:

1. Toolbar: Por orden de izquierda a derecha encontramos, el botón de ejecutar el programa y verificar que no haya errores, el “*TabMenu*” gestiona las rutinas con más de un archivo, la opción crear un nuevo documento, abrir un menú con todos los programas del “*sketchbook*”, el botón de guardar y por último se encuentra una opción de visualización de los datos que registra el programa en el momento que se ejecuta.

2. y 3. Las funciones básicas para iniciar a programar con Arduino.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.4.2. Processing

Processing es un lenguaje de programación basado en un dialecto del Java, creado para estudiantes, diseñadores, permitiendo aprender la base de los lenguajes de programación ilustrado en imágenes. Su entorno de programación de código abierto y su sencillez permite que cualquier usuario con poca base de programación le sea fácil crear y nuevos proyectos, es una de las principales virtudes, asimismo permitiendo generar aplicaciones gráficas e interactivas al tiempo que facilita la generación del código.

Processing es un software que se empezó a desarrollar en 2001, descendiente de DBN (DesingByNumbers) de John Maeda, por otro lado fueron Casey Reas y Ben Fry quienes ampliaron a la vez que mantuvieron el software DBN. Su idea principal era fusionar la idea de poder “dibujar” en código. En ese punto nació Processing que fusionaba los principios de programación a la vez que utilizaba formas visuales, movimientos e interacción con el usuario.

La sencillez de trabajar en Processing es que hay una gran comunidad detrás, que da uno de los mejores recursos, como es la página oficial, permitiendo descargar la IDE, una amplia biblioteca de tutoriales, con referencias al lenguaje, numerosos ejemplos, anotaciones de libros, etc.

Además de la similitud que existe entre la IDE de Processing y Arduino, la estructura del Sketch también es muy similar, por lo que trabajar con la combinación de los dos no es complicado. Se podrán crear códigos con Arduino permitiendo hacer simulaciones y animaciones con Processing.

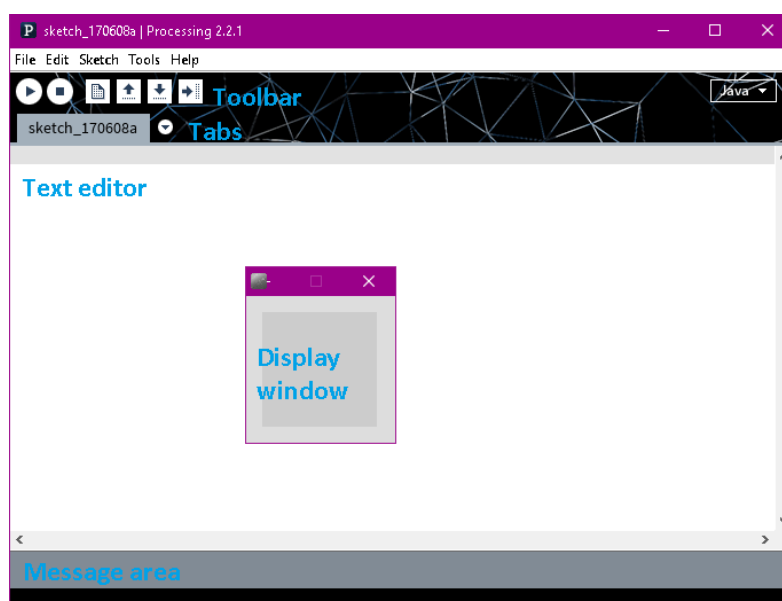


Figura 23. Pantalla principal de Processing. Fuente: elaboración propia.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.4.3. FreeCAD

Otro de los programas que se han utilizado es el FreeCAD, modelador 3D paramétrico usado para el diseño de objetos reales de cualquier tamaño, dotado de un software modular, que permite incorporar nuevas funcionalidades sin necesidad de cambio en el núcleo del sistema. De igual forma que los programas anteriores, freeCAD también es de código abierto y en gran medida personalizable. Programa diáfano que permite diseñar elementos y piezas mecánicas.

A diferencia de otros programas como AutoCAD, este usa parámetros para definir los límites y acciones, los elementos son tratados como objetos individuales, diseño paramétrico, esto significa que no solamente están definidos por coordenadas espaciales (x,y,z) sino que al mismo tiempo, delimitados por sus propios parámetros pudiendo ser gráficos o funcionales.

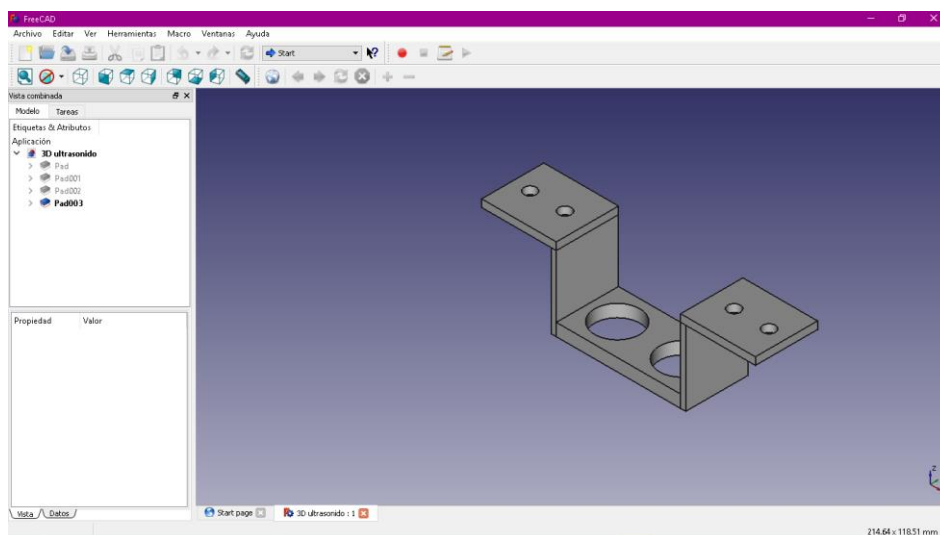


Figura 24. Pantalla con la muestra de la pieza impresa a 3D. Fuente: elaboración propia

3.4.4. Fritzing

Fritzing como los programas descritos anteriormente, es un software de carácter libre que está diseñado para obtener proyectos de sistemas electrónicos, facilitando a los diseñadores o aficionados de la electrónica a confeccionar prototipos pudiendo modificarlos hasta su estructura definitiva creando el diseño final. En general, Fritzing es un software de automatización de diseño electrónico con una interfaz dinámica.

Este programa está ideado bajo los mismos principios de Arduino y Processing, permitiendo a los usuarios tanto expertos como amateurs documentar los prototipos

3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

basados en Arduino, habilitado para realizar esquemas de circuitos impresos para posteriormente fabricarlos.

Como se ha dicho anteriormente en Arduino y Processing, Fritzing también cuenta con un sitio web amplio, donde se pueden conseguir diseños, compartir los de creación propia y además de generar foros de dudas con otros usuarios.

La interfaz del programa es sencilla y ampliamente didáctica facilitando el uso para aquellos que no tengan un elevado nivel de diseño o programación, se trata de arrastrar los elementos del circuito real a la interfaz del programa y conectarlos del mismo modo.

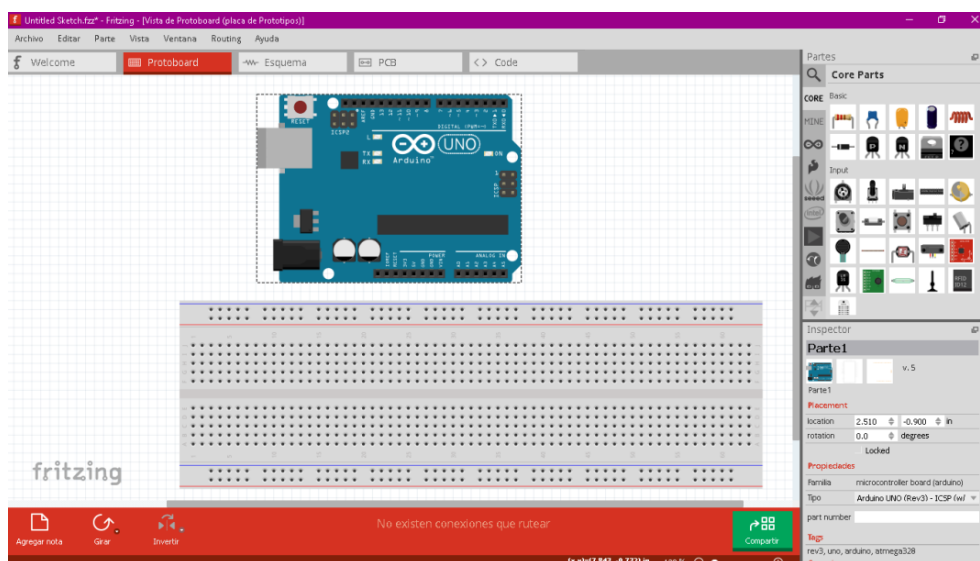


Figura 25. Pantalla principal de Fritzing, con él se han realizado los diagramas del proyecto.

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 4: **DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO**

4.1. Introducción

En el anterior apartado se han descrito con detalle los distintos elementos y programas, tanto a nivel de hardware como de software, usados en algún momento del proyecto. Haciendo énfasis en el presupuesto final del proyecto en comparación con otros instrumentos disponibles actualmente.

Si se centra en el objetivo principal de este proyecto, que es, elaborar mediante nuevas técnicas, aun en desarrollo, un instrumento de medida de caudal que permita la interacción entre los avances de estas nuevas tecnologías y el usuario sin mucha experiencia en el campo de estudio, como puede ser la programación o el diseño.

Remarcar las ventajas que se pueden conseguir como resultado de este trabajo se examinarán detalladamente en este capítulo, empezando con la generación y seguidamente la validación del ensayo de que es posible construir aparatos low- cost ampliando el uso de estos por su sencillez y bajo precio económico, es decir, acentuar la relación calidad/precio de este nuevo sistema de aprendizaje en el laboratorio.

Señalar que el trabajo realizado en este proyecto, tanto el desarrollo de la programación, el montaje, la validación y las aptitudes aprendidas han sido obtenidas personalmente sin soporte externo.

Seguidamente se expone el desarrollo del proyecto y el plan que se ha llevado a cabo, la metodología y los resultados de las pruebas en el laboratorio.

4.2. Dispositivos del ensayo, canal hidráulico

Empezamos este capítulo poniendo en sintonía el canal hidráulico con los distintos instrumentos de medida de caudal.

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

La primera estación analizada está situada aguas arriba del vertedero triangular, compuesta por un cilindro de metraquilato transparente, un limnómetro y una pieza de corcho que flota. Este último elemento está colocado dentro del cilindro ayudando a medir con el limnómetro más precisamente la distancia que hay de la base superior hasta la lámina libre del agua (donde estará el corcho).

La segunda estación de estudio estará situada en la mitad del canal, con un limnómetro manual colocado es su correspondiente soporte se medirá la distancia hasta la lámina libre del flujo de agua, en este caso el agua estará en movimiento, provocando turbulencias dificultando su lectura.

A continuación se explican las modificaciones que se realizaron estructuralmente en el canal para poder proceder con la práctica realizada en el laboratorio.

Para el primer caso, la práctica en el laboratorio se procede con el sensor de distancia por infrarrojo. Se adaptó el cilindro añadiéndole una estructura en la parte superior que sujeta el sensor en dirección vertical y sentido hacia abajo.



Figura 26. Primera estación de estudio, colocación del sensor infrarrojo en el cilindro.

En la otra estación, se hace el estudio con el sensor de distancia por ultrasonido, por el relieve de la placa que sujeta el transmisor y receptor del sensor no se podía utilizar el método de sujeción anterior, por lo que se procedió a crear una pieza extra con la

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

impresora 3D, que ayudara a sostener el sensor en el centro del canal. Con un listón de madera perpendicular al curso del canal se hace la base para fijar la pieza hecha con la impresora 3D.



Figura 27. Estación de estudio en el centro del canal, utilización de la pieza impresa en 3D para sujetar el sensor de distancia por ultrasonidos

4.3. Estudio de los sensores

El concepto general de validación del proyecto se basa en utilizar herramientas de bajo coste para poder calcular el caudal que transcurre por el canal hidráulico del Laboratorio de hidráulica.

Dado que es un trabajo experimental se han obviado las conclusiones que se obtuvieron en el estudio de la calibración del sensor infrarrojo y en el sensor de distancia por ultrasonidos considerando que no se hizo un análisis tan específico se seguirá la hoja de características técnicas.

A continuación se expone como se ha llevado a cabo las pruebas realizadas en el laboratorio, el código y preparación de los sensores, en el apartado 6 se explican los resultados de estas pruebas y se hace la comparación entre ambos observando los rendimientos finales, se mostrarán las correspondientes gráficas contrastándolas entre sí con los distintos tiempos de recogida de los datos.

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

4.3.1. Sensor de distancia por infrarrojo

El sensor de proximidad por infrarrojo, modelo SHARP, es un sensor óptico que es capaz de medir distancias entre él y un objeto, como ya se ha explicado, esto es posible con un emisor que lanza ondas infrarrojas y un receptor que miden esta distancia haciendo un proceso de triangulación.

Este método consiste en calcular el ángulo que forma el triángulo compuesto por el emisor, objeto y receptor. La geometría de este sensor y de la óptica es la limitación del rango del sensor.

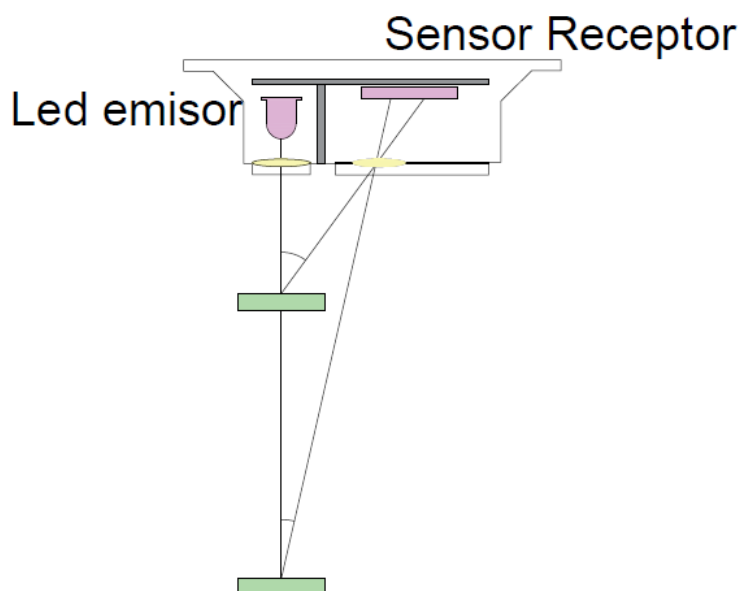


Figura 28. Esquema de funcionamiento del sensor infrarrojo. Fuente: elaboración propia.

Este sensor se caracteriza por usar una luz infrarroja intermitente con una determinada frecuencia, se verán en los gráficos en el apartado 6.

Se tendrá que tener en cuenta a la hora de colocar el sensor, que a distancias pequeñas da una lectura que se podría confundir con una distancia mayor, se deberá asegurar que no haya objetos a una distancia menor a 10cm.

A continuación se explica el código utilizado para almacenar los datos de distancia con este sensor a través de Arduino.

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

```
void setup() {  
  
    // se inicia la comunicación serial  
    Serial.begin(9600);  
  
}  
  
void loop() {  
  
    // guardamos el valor que nos entrega el sensor en la variable distancia  
    lectura = analogRead(sensor);  
    cm = pow(3027.4 / lectura, 1.2134);  
  
    //mostramos el valor del sensor en la consola serial  
    Serial.println(cm);  
  
    //Si el valor del sensor es menor al umbral que decíamos...  
  
    delay(1000);  
}
```

Figura 29. Parte del código del sensor infrarrojo

Se observa que en la primera función solo contiene otra función con nombre “*serial.begin(9600)*”, al ejecutar el programa esta función se activará y su tarea es fijar la velocidad para la transmisión de los datos en serie con el ordenador. En la siguiente función base cabe destacar que este sensor tiene salida analógica, y se le tendrá que comunicar el pin analógico por el cual se le introducen los datos y a continuación se hace la transformación de los datos, para que el valor que nos aparezca por pantalla sea el calado y no la distancia que lee el sensor.

$$cm = \frac{3027.4^{1.2134}}{lectura} \quad [14]$$

Por último hay la función “*delay()*”, que su función es parar el programa un tiempo determinado (en milisegundos).

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

4.3.2. Sensor de distancia por ultrasonido

El sensor de ultrasonidos HC-SR04, funciona calculando el tiempo que tarda entre el envío de un pulso sonoro hasta su recepción. Conocida la velocidad del sonido, 343 m/s y con el cambio de unidades apropiados obtenemos:

$$\text{velocidad del sonido} = 0.034\text{cm}/\mu\text{s}$$

La expresión matemática que define la distancia en función del tiempo que tarda el pulso de ser emitido a su regreso al sensor es la siguiente:

$$\text{Distancia (cm)} = \frac{\text{tiempo } (\mu\text{s})}{29.2 * 2} \quad [15]$$

El motivo de dividir por dos es porque el valor obtenido sería el tiempo de ida y vuelta, es decir la distancia recorrida por el pulso sonoro es el doble de la que interesa medir.

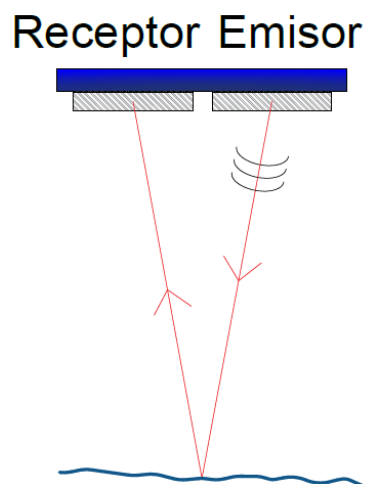


Figura 30. Esquema funcionamiento del sensor de distancia por ultrasonidos. Fuente: elaboración propia.

En este caso el sensor es de entrada digital, la interfaz digital se consigue a través de los dos pines explicados anteriormente, el pin de trigger (disparo) y echo (eco).

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

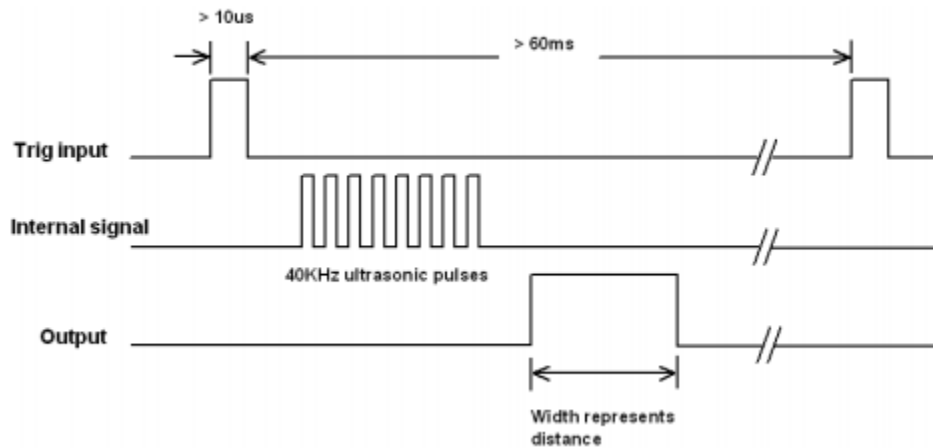


Figura 31. Pulsos que emite y recibe el sensor ultrasónico. Fuente: Datasheet del sensor.

Imagen extraída del “*datasheet*” del sensor, se observan los impulsos que se generan en el sensor, el primero “*triginput*” es el que dispara la señal, “*internalsignal*” como bien dice el nombre son las señales internas (pulsos eléctricos/ultrasónicos) del sensor y el tercero es el pulso eco donde la duración es proporcional a la distancia medida por el sensor.

El código que se ha utilizado para el registro de las medidas de distancia con este sensor se adjunta completo en el anexo 4. A continuación se explican las funciones más importantes y la metodología que se ha llevado a cabo.

Primero de todo para que se active el sensor se necesita generar un pulso eléctrico por parte del microcontrolador indicándole al módulo que comience a realizar la medición de distancia, pin de salida “*OUTPUT*”.

Por el otro pin el sensor avisa al microcontrolador de un pulso el cual su ancho es proporcional al tiempo que ha tardado el sonido del sensor al objeto y su regreso.

A posteriori se utiliza la función “*pulseIN*” necesaria para medir la longitud del pulso entrante, mide el tiempo que ha transcurrido entre el envío del pulso eléctrico hasta que el sensor recibe el rebote, en el código viene dado desde que el pin 12 empieza a recibir el rebote, “*HIGH*”, hasta que deja de hacerlo “*LOW*”, la longitud del pulso entrante.

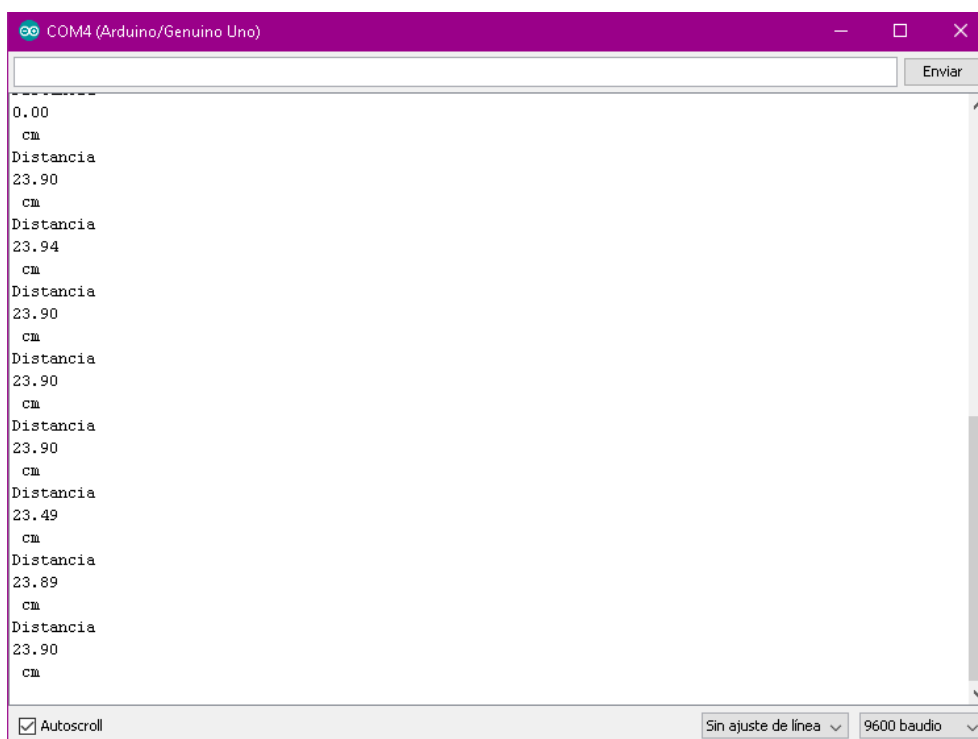
Como último paso se convierte este tiempo registrado a distancia mediante la siguiente expresión matemática:

$$\text{distancia (cm)} = 0.017 * \text{tiempo} \quad [16]$$

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y LABORATORIO

Cuando se escribe esta ecuación en el código se introduce la función “*float*”, ya que el resultado de esta operación serán la mayoría números decimales y se pretende que estos valores sean lo más precisos posibles.

Asimismo reiterando con lo dicho en el apartado donde se explica con detalle que es Arduino tanto actuando como software o hardware, hay una gran librería de códigos y ejemplos que facilitan a desarrollar nuevas aplicaciones, teniendo que modificar solamente los detalles. El código que se ha utilizado para programar este sensor ha estado extraído y modificado para su uso correcto.



```
COM4 (Arduino/Genuino Uno)
Enviar
0.00
cm
Distancia
23.90
cm
Distancia
23.94
cm
Distancia
23.90
cm
Distancia
23.90
cm
Distancia
23.90
cm
Distancia
23.49
cm
Distancia
23.89
cm
Distancia
23.90
cm
Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio
```

Figura 32. Ilustración de las lecturas con el sensor. Fuente: elaboración propia

4.3.3. Comparación con las pruebas realizadas previas del estudio en el canal

Si se comparan los dos sensores utilizados, como primera diferencia a destacar es que a la hora de detectar objetos el sensor infrarrojo los valores se ven afectados dependiendo del material o color del objeto además de que el polvo o agua no dejaran leer porque los rayos incidirán y no rebotaran, por otro lado el sensor ultrasónico no importa de que esté hecho el objeto a detectar ni el color, además de que las ondas ultrasónicas rebotan al agua. Pero si se mira la precisión del sensor en condiciones idóneas el sensor infrarrojo es mucho más preciso que el ultrasónico. Si los centramos en el trabajo, observando las condiciones de contorno del laboratorio, se aprecia que aunque el sensor infrarrojo tenga más precisión, al trabajar en medio hidráulico y distancias no muy elevadas el sensor ultrasónico da más buenos resultados.

CAPÍTULO 5: SISTEMA DE PARTÍCULAS

5.1. Introducción

Paralelamente al trabajo realizado en el laboratorio, se brindó la posibilidad de crear un programa en Processing que permitiese interactuar de una manera visual entre los datos recogidos y el usuario del programa.

En esta parte del proyecto se pretende exponer la combinación de la utilización de los dos software, Arduino y Processing, haciendo que dos estudios individuales se enlacen entre si y coexistan en sintonía.

Como ya se ha comentado Processing es una herramienta sencilla y eficaz para un usuario sin mucha experiencia en programación puesto que la manera elemental para interactuar con un dispositivo, ver cómo funciona y analizar el comportamiento es a través de una interfaz gráfica. Processing es un software que permitirá presentar los datos recogidos por dispositivos electrónicos, físicos como pueden ser sensores o elegir su funcionamiento a través de actuadores.

Processing dispone de una función capa de conectarse con multitud de dispositivos periféricos permitiendo controlar directamente el hardware utilizando una librería específica.

En este proyecto y como introducción de este apartado se conectará a la placa de Arduino conectada al sensor de distancia por ultrasonido.



Figura 33. Se interactua con los dos Softwares, Arduino y Processing

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

A continuación se introduce el sistema de partículas, explicando detalladamente como se desarrolló el código y con su respectiva visualización.

El término de sistema de partículas nació el año 1982, cuando se trabajaba en la película “StarTrek II”. La película trata de al disparar un torpedo contra un planeta estéril y sin vida tiene la capacidad de reorganizar la materia y crear un mundo habitable para la colonización, en la escena donde sucede este acontecimiento se observa una pared de fuego ondulada sobre el planeta mientras es transformado. Como se puede ver esta expresión deriva a una técnica increíblemente común y usada en computación gráfica.

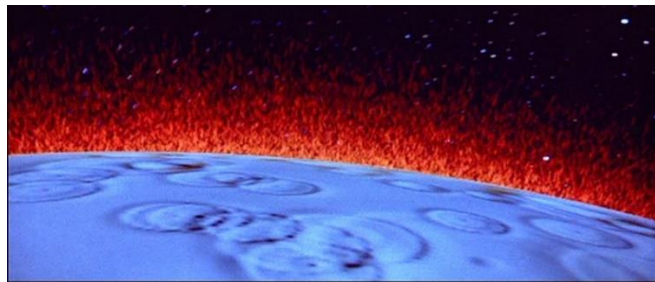


Figura 34. Imagen de una escena de la película "Star Trek II" simulando un sistema de partículas

“Un sistema de partículas es una colección de muchas diminutas partículas que juntas representan un objeto difuso. Durante un periodo de tiempo, las partículas se generan en un sistema, se mueven y cambian dentro del sistema, y fueren con el sistema”

- William Reeves, “Particle Systems – A technique for modeling a Class of Fuzzy Objects”, ACM Transactions on Graphics 2:2 (April 1983), 92.-

Desde los años 80, el sistema de partículas se ha utilizado en numerosas aplicaciones para videojuegos, animaciones, arte digital, para modelar fenómenos naturales, como puede ser el fuego, humo, hierba, etc.

Una vez introducido el término “sistema de partículas” se entra en materia y de su utilización en el proyecto, se examinará las estrategias que se han implementado para su correcta codificación, la organización del código, la separación de una simple partícula frente al sistema.

Se define un sistema de partículas como una colección de partículas individuales independientes, representadas con una forma sencilla como una redonda, un cuadrado o simplemente un punto.

Llegados a esta situación en el siguiente apartado se describe con detalle el código utilizado y como de un ejemplo de la librería de Processing se ha modificado la

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

codificación hasta llegar al proyecto realizado. Asimismo destacar que el proceso ha sido de crear un cuadro de trabajo donde se generaran partículas de modo aleatorio y que circularan por dentro de una franja específica limitada por los datos de calado procedentes de los registros que recibía el sensor de distancia por ultrasonido.

5.2. Programación del sistema

En este apartado se explica el código que se ha usado para que sea posible la visualización a tiempo real de partículas que se suponen que podrían fluir por el canal y del calado que hay en cada momento.

Se separará en dos bloques distintos para luego poder crear este programa principal “sistema de partículas”. En primer lugar se quiere trabajar con cantidades flexibles de elementos, teniendo la libertad de tener cero objetos, a veces un solo objeto o en otros momentos miles de objetos, es decir, un código que crea el objeto en particular, en este caso partículas. Por otro lado se pretende adoptar un enfoque más sofisticado orientado a estos objetos, una clase que no solo incluya una sola partícula, sino que asimismo describa la colección de partículas.

5.2.1. Programa principal

Se empieza preparando en una primera pantalla el programa principal, que tiene la forma siguiente:

```
ParticleSystem ps;
  Arduino arduino;
  int Pin = 0;
  int h;
  float cm;
  int lectura;

void setup() {

  println(Arduino.list());
  arduino= new Arduino(this, Arduino.list()[0], 57600);

  size(1000,700);
  ps = new ParticleSystem(new PVector(0,0));
}

void draw() {
  h = arduino.analogRead(Pin);
  cm = pow(3027.4 / h, 1.2134);
```

Figura 35. Parte parcial del código empleado para la generación del Sistema de Partículas

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

Se identifican 3 sección diferenciadas siendo la estructura básica del programa, la primera donde se introducen las variables, la segunda “*setup()*” es una función que se llama una sola vez cuando se inicia el programa, se utiliza para definir las propiedades iniciales del entorno, en este caso se introduce el tamaño de la ventana emergente donde se visualizará el código realizado, asimismo se le comunica a Processing que está conectado a Arduino y por donde recibirá los datos. Por ultimo está la función “*draw()*” para que en el programa haya una animación se necesita que parte del programa se vaya ejecutando repetidamente, y que permita que haya variación de los datos cada vez que se ejecute. En este caso la variable que varía en el tiempo es “*h*”, dato que viene proporcionado por el Arduino, el calado que lee el sensor en el canal. Asimismo dentro de esta función se introduce la expresión lógica “*if*” con la variable “*cm*” de este modo la simulación se registrará por la altura que haya de calado en ese momento en el canal.

Para finalizar esta parte se añaden otros objetos para que la visualización mejore, como el color representativo del agua y parte de texto que identifica el trabajo.

5.2.2. Particle

Antes de entrar en el sistema de partículas, se tiene que escribir la clase que describirá una partícula individual. Esta clase se inicia definiendo varias variables, que serán utilizadas para caracterizar la partícula que se quiere generar, posición de inicio, en el caso del eje de ordenadas será aleatorio, velocidad, aceleración, ángulo de rotación.

La partícula actuará como un cuerpo independiente que se mueve por la pantalla a su aire. Como ya se ha dicho tendrá una ubicación, velocidad y aceleración y para iniciar estas variables se tendrán que explicar estas dos funciones “*display()*” y “*update()*”.

```
// Method to update location
void update() {
    velocity.add(acceleration);
    location.add(velocity);
    angle = angle + jitter;
}

// Method to display
void display() {

    fill(102,51,0);
    rectMode(CENTER);
    pushMatrix();
    translate(location.x,location.y);
    rotate(angle);
    rect(0,0,10,10);
    popMatrix();

}
```

Figura 36 Parte del código para la generación de una partícula individual

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

Con estas dos funciones, se procede a generar una partícula, modificar su dirección o comportamiento. Agregando variables para caracterizarlas, color y forma, y decidir su vida útil. Asimismo hay la función “*run()*” que simplemente llama a las dos funciones anteriores por nosotros.

Se observa en el código las funciones “*pushMatrix()*” y “*popMatrix()*” se trata de guardar un punto de retorno, para que las partículas se comporten de manera individual y no interactúen entre sí, evitando que transformaciones que se le apliquen a unas no afecten a las posteriores.

5.2.3. ParticleSystem

Antes de empezar con esta clase, se debe introducir la función “*ArrayList*” su función es almacenar un número de objetos, parecido a una matriz, pero con esta función los elementos se pueden agregar y suprimir fácilmente cambiando el tamaño de una manera dinámica. La utilizaremos para agrupar todas las partículas que se vayan generando y eliminando las que se mueran.

```
class ParticleSystem {
    ArrayList<Particle> particles;
    PVector origin;

    ParticleSystem(PVector location) {
        origin = location.get();
        particles = new ArrayList<Particle>();
    }

    void addParticle() {
        particles.add(new Particle(origin));
    }

    void run() {
        for (int i = particles.size()-1; i >= 0; i--) {
            Particle p = particles.get(i);
            p.run();
            if (p.location.x >= width) {
                particles.remove(i);
            }
        }
    }
}
```

Figura 37. Parte del código para tratar las partículas como un sistema

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

Con esta última función descrita es conveniente introducir la función “*remove()*”. Los típicos sistemas de partículas necesitan un emisor, que es la fuente de las partículas y el que controla los ajustes iniciales para las partículas como la ubicación, la velocidad, etc.

Un emisor puede emitir una sola ráfaga de partículas, o un flujo continuo de partículas, o ambos, el punto es que para una implementación como esta, una partícula nace en el emisor pero no vive para siempre, si tuviera que vivir para siempre, nuestro programa de Processing acabaría por morir a medida que el número de partículas aumentara hasta llegar a ser un número difícil de manejar con el tiempo.

A medida que nacen nuevas partículas, necesitamos que partículas viejas mueran. En este punto es cuando se introduce el “*particles.remove(i)*” creando la ilusión de un flujo infinito de partículas sin que el rendimiento del programa sufra. La función va a depender de la variable “*width*”, longitud de la pantalla de simulación de este código, haciendo que cuando la posición x de la partícula supera esta variable actúe la función y la partícula muera.

Acorde con lo que se ha descrito hasta el momento, se ha explicado una clase para un solo objeto, partícula independiente. Asimismo se ha introducido la función la cual administra todas las partículas que se crean y se mueren.

El siguiente paso es escribir una nueva clase para describir la lista de partículas, ParticleSystem, permitiendo eliminar un voluminoso bucle a través de todas las partículas en la clase principal, del mismo modo crear la posibilidad de tener más de un sistema de partículas.


5.3. Visualización del Sistema de Partículas

Seguidamente se muestran unas imágenes de la animación que se genera cuando se ejecuta el código explicado en el apartado anterior.



Figura 38. Como se organiza el Software Processing

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

1.  Botón de reproducir (play), se utiliza para reproducir el código ejecutado como una animación.
2. / 3. / 4. “Tabs”, las 3 clases que forman el código: el sistema general, el de generar las partículas de manera individualizadas y por último la clase que engloba todas las partículas como un sistema.

La siguiente imagen nos muestra una primera animación del código.

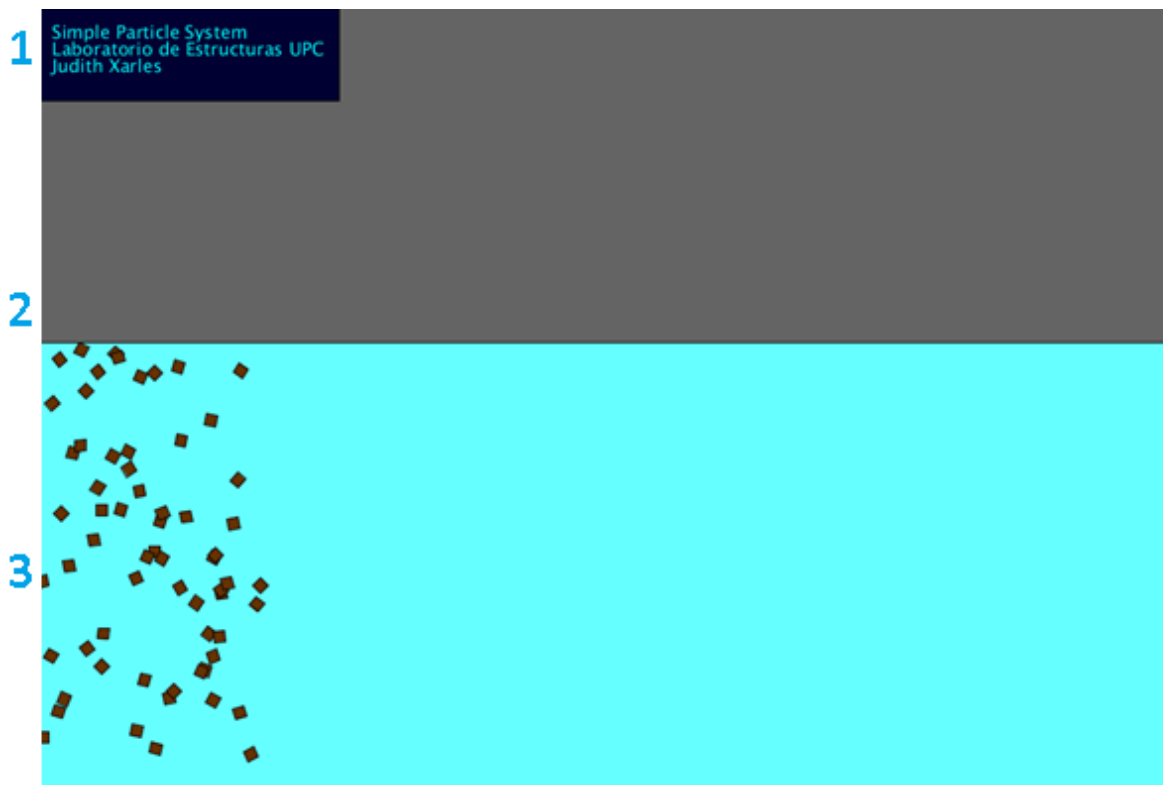


Figura 39. Una primera simulación del Sistema de Partículas. Fuente: elaboración propia.

1. Texto que da información extra del proyecto, de que trata, donde y quien lo ha realizado.
2. línea divisoria que va en función de la altura del calado que hay en el canal en ese instante. Como consecuencia del oleaje que puede provocar la oscilación del calado dentro de un intervalo reducido, se decidió que los datos de entrada se agruparan cada 10 cm, es decir, dentro de unos márgenes de 10cm la animación no variara la altura de la lámina libre de agua.
3. Se observan las partículas (cuadrados marrones) fluyendo por el canal, cada una independiente de las otras pero actuando como un sistema. Esta captura de pantalla está

5. SISTEMA DE PARTÍCULAS

realizada al iniciar el programa, se muestra que las partículas nacen por el lado izquierdo rotando y fluyendo por el canal.

La siguiente captura de pantalla se hace posteriormente de la anterior, se nota que la lámina de agua ha aumentado y asimismo las partículas ya fluyen a lo largo de toda la animación hasta ser eliminadas cuando cruzan el lado derecho.



*Figura 40. Animación de la simulación del Sistema de Partículas con un cierto tiempo transcurrido.
Fuente: elaboración propia*

CAPÍTULO 6: **RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL** **LABORATORIO**

6.1. Introducción

A lo largo del canal se deciden dos puntos de estudio, la metodología para hacer las pruebas es parecida pero se diferencian por que los sensores que recogen los datos son diferentes, tener en cuenta que ambos sensores dan lecturas de distancia, es decir, el intervalo que hay desde el sensor hasta la superficie libre de agua en el canal. Todas las lecturas recogidas deberán ser evaluadas de manera que, conociendo la separación exacta entre el sensor y la base del canal o del cilindro, la diferencia entre este dato fijo y la lectura del sensor, se obtendrá el calado o altura de agua.

Seguidamente la obtención del caudal es directamente proporcional si se aplica la expresión matemática descrita anteriormente descrita [9] y [10].

6.2. Sensor de proximidad por infrarrojos

Como se ha dicho anteriormente, el sensor de distancia por infrarrojo se coloca aguas arriba del vertedero triangular, se harán distintos ensayos, con diferentes tiempos de recogida de datos.

En el apartado 3.2.1. ya se explicó la calibración de este sensor, por lo que el estudio en el canal se proseguirá teniendo en cuenta las conclusiones que se describieron, aunque los resultados finales fueron que el sensor no era muy fiable en relación a la distancia que medía fuera la real, es un ensayo experimental.

La primera prueba que se hizo en el canal fue con lectura directamente al agua del interior del cilindro, se comprobó que el sensor daba lecturas erróneas ya que las ondas infrarrojas incidían al agua. A consecuencia y como solución de este problema se

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

decidió introducir una pieza de corcho, alternativa que resolvía el problema ya que en este caso las ondas ya rebotaban hacia el receptor del sensor. Se tendrá que tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos restar el grosor del trozo de corcho que es de 8mm.

Se hacen 4 pruebas distintas en esta estación. Seguidamente se explican detalladamente como ha sido el proceso de cada una de ellas.

Todas las lecturas, el estudio y los resultados serán con el valor del calado ya que es el valor proporcional que da el sensor de distancia.

A continuación en la figura adjunta se ven distinguidas las diferentes partes de la estructura que se ha utilizado para poder recoger los datos en el laboratorio.

En primer lugar hay el ordenador en el que está conectado el Arduino y del cual se cargará el código al Arduino. Con el portátil se recogerán los datos de todas las pruebas que se vayan realizando al largo del proyecto, para posteriormente poderlas analizar y sacar las conclusiones. En el centro de la imagen hay la placa Arduino, conectada directamente al sensor colocado a la parte superior del cilindro. Esta imagen muestra perfectamente los dos métodos que se han utilizado en este proyecto para calcular el calado por encima del vertedero triangular del canal. Por un lado hay el sensor en sentido descendiente, enfocando sus ondas hacia la pieza de corcho y por otro el limnómetro en el centro del cilindro.



Figura 41. Visión general del Laboratorio. Estación de estudio con el sensor de proximidad por infrarrojos

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

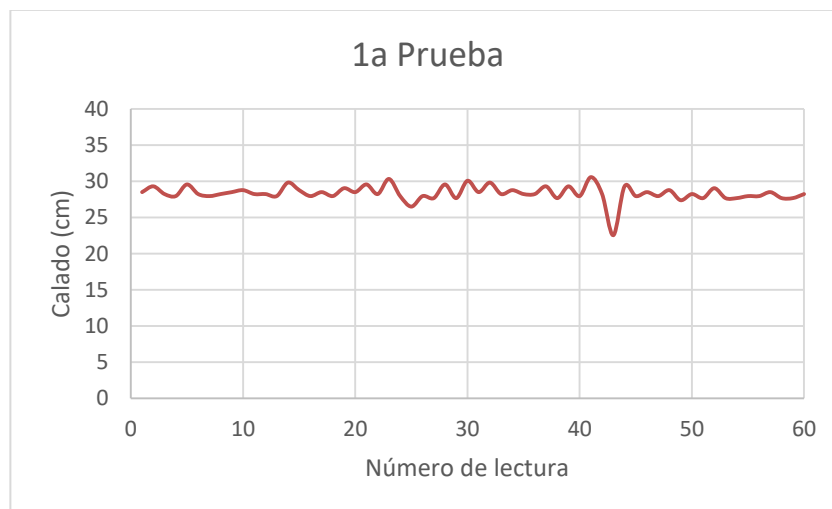
Se prepara el canal con un caudal no conocido, se hace una primera lectura con el limnómetro para conocer aproximadamente el calado así tener un valor de referencia.

El valor del limnómetro es de 37.12 cm, aplicando la expresión matemática anteriormente descrita obtenemos un valor de calado de: **28.22 cm**

Uno de los objetivos principales de este proyecto es medir con más precisión el valor del calado en el canal, ya que de la forma que se está procediendo hasta el momento no es exacta. La escala limnimétrica es una herramienta donde el rango de precisión es muy elevado, el problema en el que nos encontramos en el canal es la fluctuaciones de la lámina libre de agua, el oleaje, por este motivo se dice que el valor de calado medido con el limnómetro es aproximado y no exacto.

6.2.1. Primera lectura

La primera lectura hecha en el canal será de 1 dato por segundo, es decir con delay, el tiempo de recogida de datos es de 1 min.



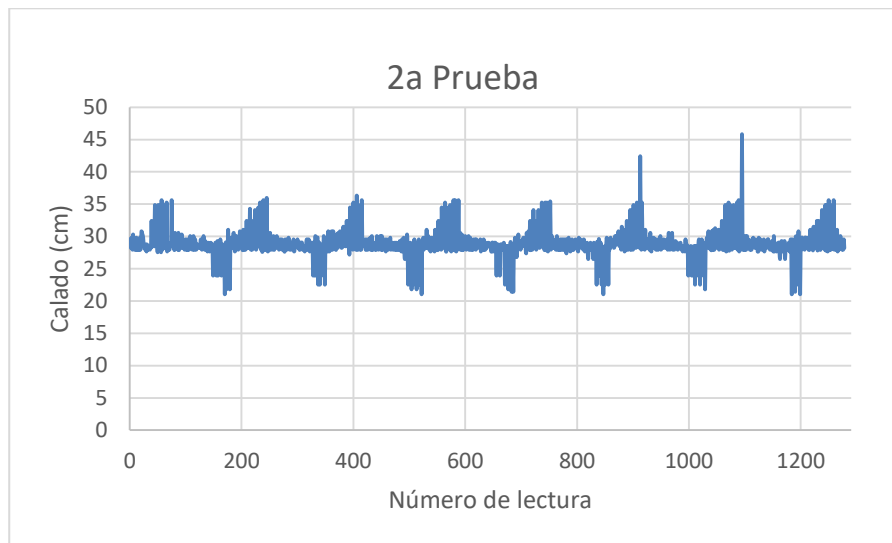
Gráfica 1. Lecturas durante un minuto, estación aguas arriba del vertedero

Como se puede observar en el gráfico, el registro de los datos es bastante estable, hay picos que sobresalen de forma que el gráfico no es lineal. La media del calado en esta primera prueba da un valor de: **28.34 cm** resultando aproximado al valor que se calculó con el limnómetro.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

6.2.2. Segunda lectura

Sin modificar la cantidad de agua que fluye por el canal, es decir con las mismas condiciones de contorno que en la lectura anterior, se cambia el tiempo de registro de datos, suprimiendo el delay dejando que el sensor lea tantos datos como le sea posible en 10 segundos.



Gráfica 2. Lecturas sin delay durante 10s, estación aguas arriba del vertedero

El número de datos que se recogen en 10 segundos es mucho más elevado al leer sin delay, un total de 1278 valores, en el gráfico se pueden observar los impulsos de la tensión muy constantes.

Se obtiene una media del calado igual a: **28.77 cm**

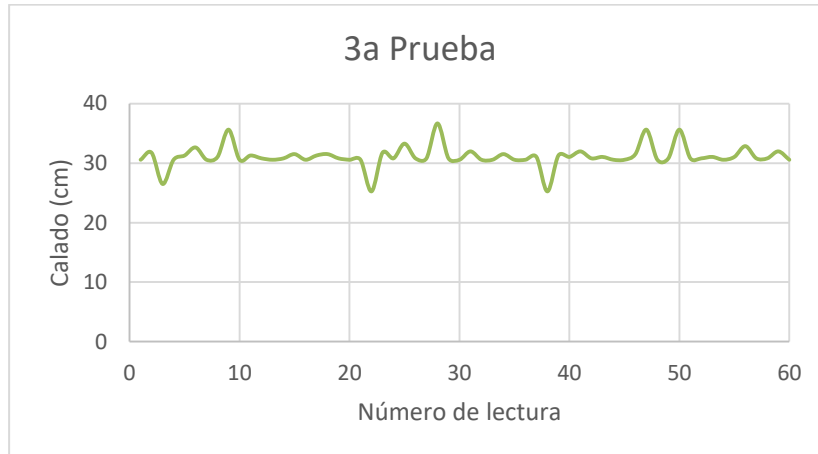
En los dos siguientes apartados lo que se pretende realizar es examinar cómo se alteran las lecturas recogidas al aumentar el caudal que fluye por el caudal. Los datos serán evaluados una vez la altura en el cilindro se estabilice.

Se hace de nuevo el cálculo de la altura del agua con el limnómetro, da un valor de 39.84 cm, por lo que aplicando la expresión matemática para la obtención del calado se obtiene: **30.94 cm** de altura de agua que hay por encima del vertedero.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

6.2.3. Tercera lectura

Se volverá a repetir el mismo proceso que se hizo en el caso anterior, primero se recogerán los datos con un delay durante 1 min. Recuento de 60 números.

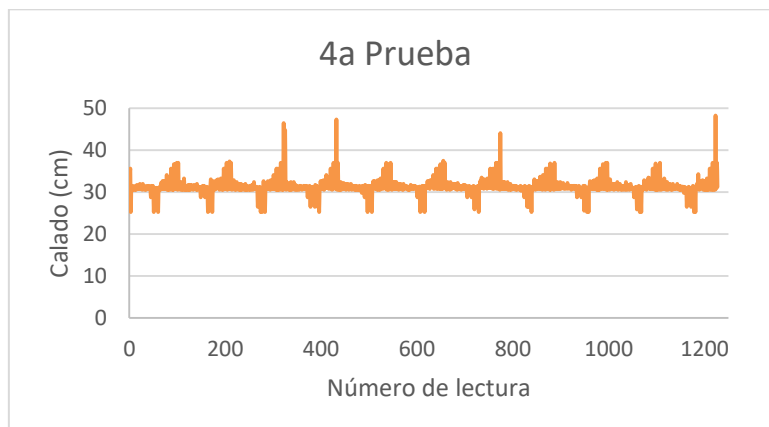


Gráfica 3. Lecturas durante un minuto, estación aguas arriba del vertedero

Se observa que la tendencia de la gráfica sigue siendo estable pero con oscilaciones. La media de la gráfica es de valor: **31.11 cm** aproximadamente el valor obtenido por el limnómetro.

6.2.4. Cuarta lectura

Con el aumento de caudal la altura del calado aumenta proporcionalmente, en esta 4ª prueba se sigue con las mismas condiciones de contorno que en la lectura anterior, únicamente se modifica el tiempo de captación de los datos con el sensor, suprimiendo el delay y en este caso el tiempo será de 10s a máxima velocidad.



Gráfica 4. Lecturas sin delay, estación agua arriba del vertedero

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Con una totalidad de recuento de valores de lectura igual a 1227, su media es igual a: **31.20 cm**. En este gráfico de nuevo se observa una regularidad con los picos de tensión. En apartados siguientes se explicaran soluciones para que los valores no difieran tanto a la lectura a tiempo real.

6.2.5. Comparación de resultados

A continuación se hace una comparación generalizada con los resultados obtenidos con el sensor de proximidad por infrarrojos.

Limnómetro (cm)	Núm. de prueba	Cantidad de lecturas	Valor medio (cm)	Error medio con el limnómetro (cm)
28.22	1	60	28.34	0.12
	2	1278	28.77	0.55
30.94	3	60	31.11	0.17
	4	1227	31.20	0.26

Tabla 2. Datos recogidos con el sensor infrarrojo

Se nota que la diferencia entre un sistema de medida u otro da un intervalo de error de pequeño, máximo de 5.5 mm, si se recuerda que hay que tener en cuenta el oleaje se puede decir que el valor medio de lectura de calado no difiera lejos del valor dado por el limnómetro.

Sí que con lecturas a tiempo real hay puntos donde la distancia difiere 10cm de la media. Como solución se propone mejorar el programa, generando una nueva función que su tarea principal sería hacer la media actualizada con los valores de lectura que le fueran entrando, de este modo el valor sería más próximo al real.

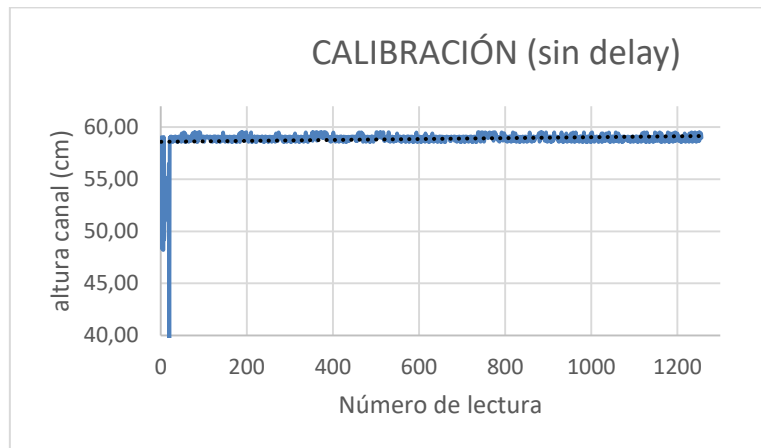
6.3. Sensor de distancia por ultrasonido

Este sensor se colocó en un punto medio a lo largo del canal, se analizarán los valores obtenidos en distintas situaciones y en diferentes tiempos de recogida de datos.

En este caso no se hizo un estudio estadístico de calibración del sensor tan específico como el del sensor de distancia por infrarrojo, pero aun así se hizo una calibración en el mismo canal hidráulico para minimizar los errores.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Con el canal vacío, sin agua que fluya, se hace una lectura sin delay y otra con un tiempo de recogida de datos de 1 dato por segundo durante un minuto. Se obtienen las gráficas que se adjuntan a continuación:

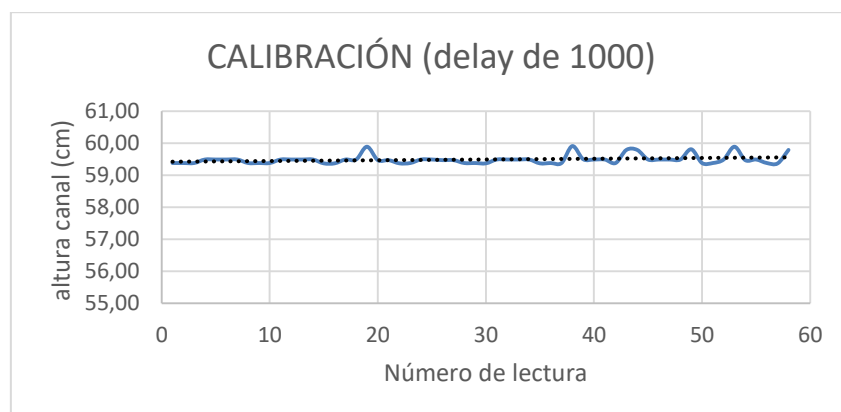


Gráfica 5. Altura del canal, usado para la calibración del sensor

En ambos gráficos se observa una tendencia lineal, sin muchos picos que distorsionen los valores de las medias de cada uno de los gráficos.

En el gráfico 5 hacen notar unos valores en los primeros números de lectura que no se van a considerar, ya que en números de lectura posteriores no se observa ninguna otra irregularidad.

En el gráfico 6 el número total de lectura es de 60 valores, por eso se hacen notar más algunos valores que difieren de la línea de tendencia. Incluso así la los valores se rigen por una linealidad.



Gráfica 6. Calibración del sensor, lecturas recogidas con delay

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Una vez se conoce la altura del canal con el sensor de distancia por ultrasonido se puede proceder con el estudio en el laboratorio.

En este apartado se subdivide en distintas pruebas que se realizaron con este sensor, los primeros se realizan a partir de hacer fluir un caudal por el canal y una vez estabilizado y sin turbulencias en el agua se empieza con el estudio. Lo posteriores se realizaron con el agua en movimiento haciendo que pasará el frente avanzando por el canal y luego otra recogida de datos con el frente en sentido contrario al anterior.

A continuación se muestra una imagen del montaje que se hizo en el canal. Como se ha explicado en apartados anteriores se necesitó crear un soporte especial para sujetar el sensor. El sensor va colocado en el medio del canal a una altura protegido del agua, conectado directamente a la placa Arduino y de la misma manera que en el caso anterior la placa va conectada a un ordenador que recogerá los datos que lea el sensor y sean procesados por el código que hay cargado en la placa.

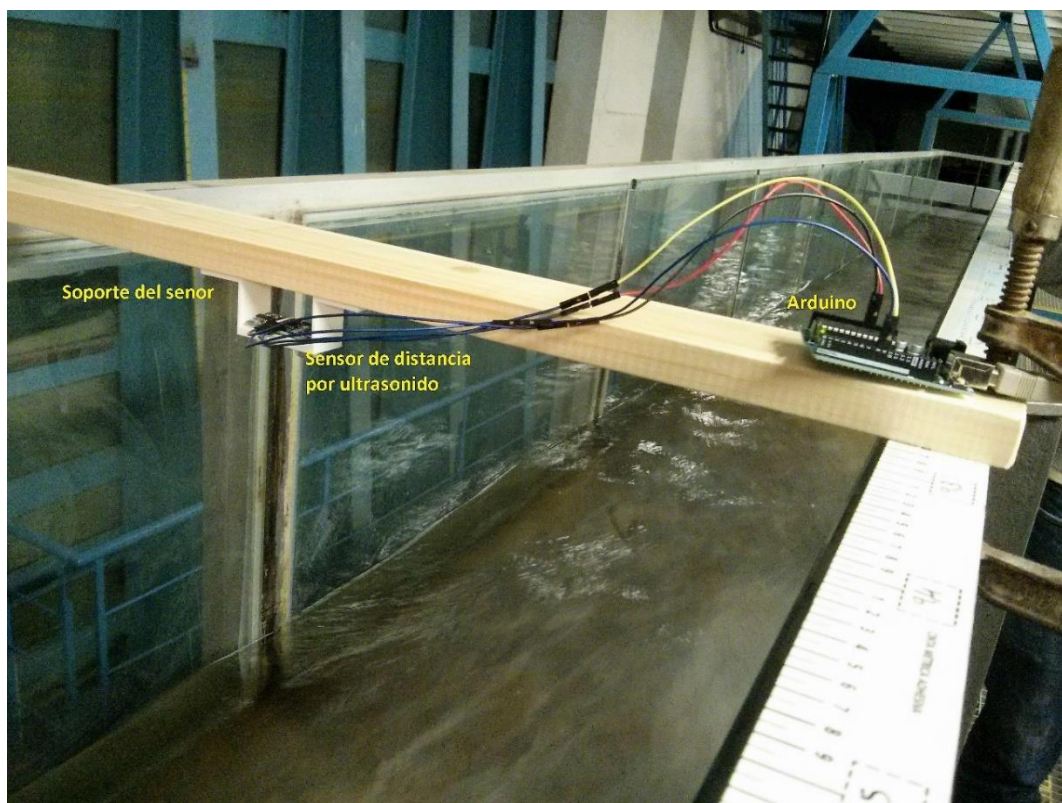


Figura 42. Visión general del canal hidráulico. Estación de estudio con el sensor de distancia por ultrasonido

Una vez se ha instaurado las condiciones de trabajo se procede a ejecutar todo el sistema y analizar los datos.

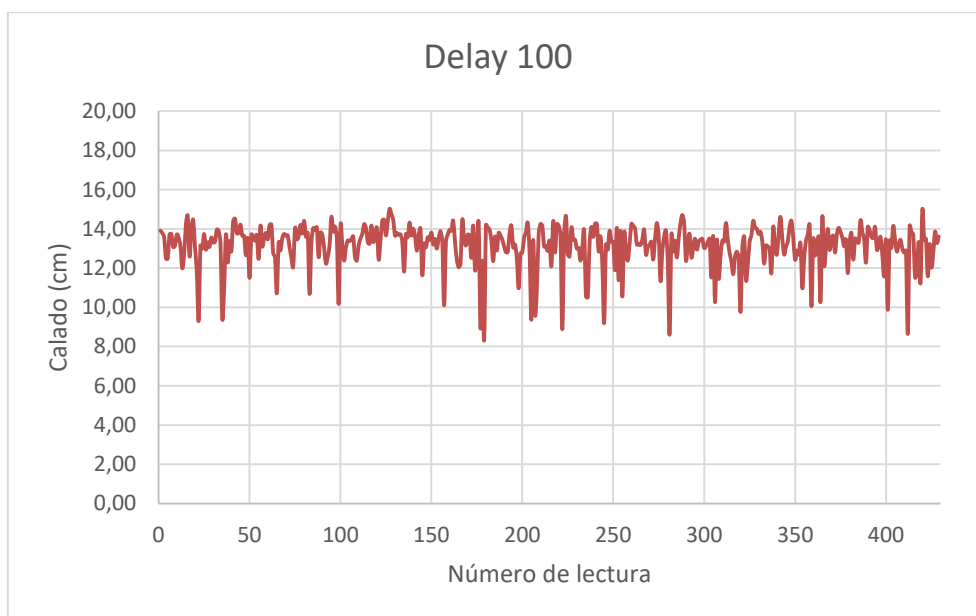
6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

En primera instancia se calcula la media de la altura del canal con referencia directa a los datos recogidos a la calibración del sensor. Por un lado se obtiene un valor de media igual a: **58.87 cm** sin delay y **59.49 cm** con delay de 1000, se tendrán que tener en cuenta estos valores cuando se hagan los cálculos de las distintas pruebas.

En los siguientes apartados se realizará un análisis con gráficos de los datos recogidos en el canal con un caudal aún no conocido, el estudio se realiza en una situación donde el canal está en régimen laminar, sin turbulencias.

6.3.1. Primera prueba

Con el agua del canal estabilizado, se realiza una primera prueba con un tiempo de lectura de 1 min con un delay de 100, se hace un recuento de 429 valores.

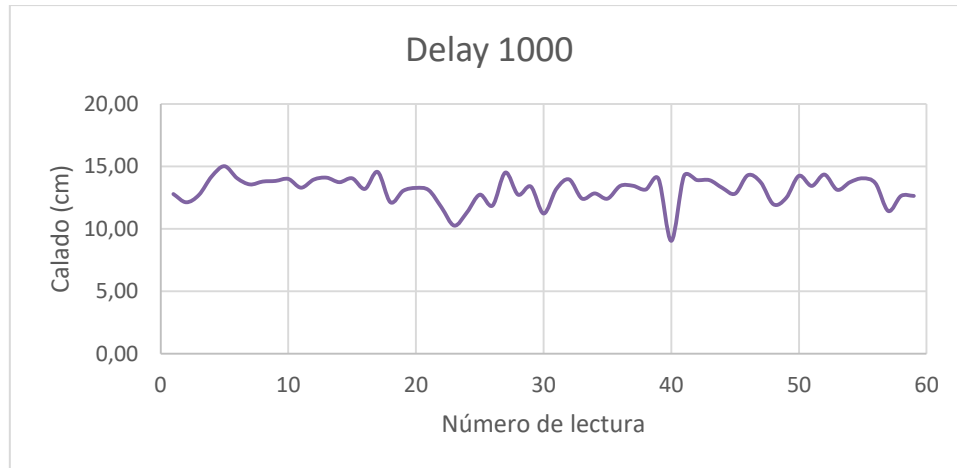


Gráfica 7. Estación en el centro del canal, primera prueba

Los datos recogidos en esta primera prueba dan una media de **13.14 cm**, se nota la diferencia de la dispersión de los valores en comparación con el gráfico de calibración. En el apartado de las conclusiones se explicara detalladamente, pero este suceso se interpreta con el movimiento del agua en el canal, por mucho que esté estabilizado siempre hay fluctuaciones.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Continuamos con las mismas condiciones de contorno, pero en este caso con delay de 1000, es decir, 59 valores en 1 min.



Gráfica 8. Distancias de calado registradas en un minuto

El resultado de la media con los valores registrados en esta prueba tienen un valor de: **13.15 cm** muy próximo al obtenido en el gráfico anterior. Se sigue teniendo la fluctuación de los valores entre el intervalo de [9,15].

Por último ensayo con estas condiciones de contorno se decide evaluar la situación sin delay, recogiendo el máximo de valores en 10 segundos. Se obtiene el gráfico siguiente:



Gráfica 9 Datos de calado sin delay con un tiempo de recogida de diez segundos

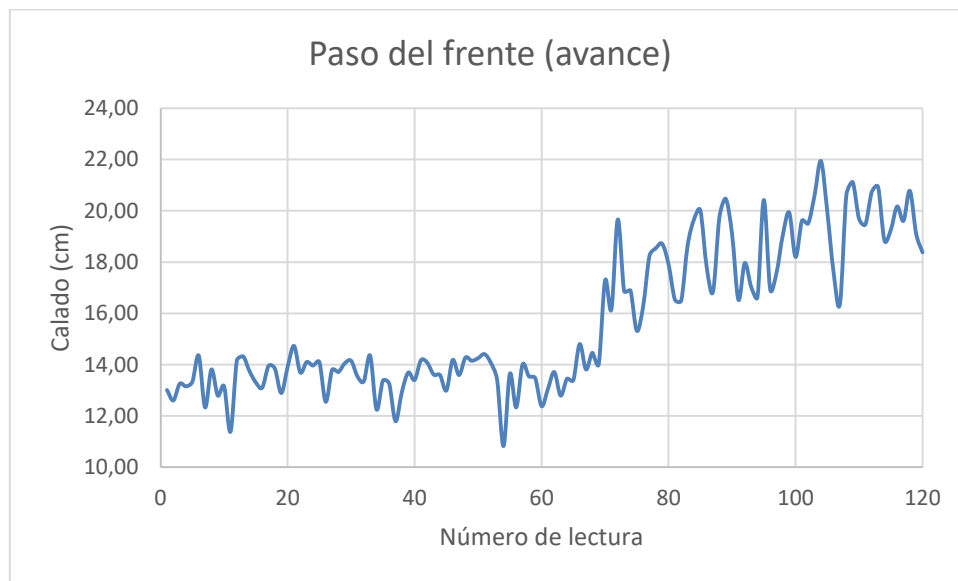
6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Con un numero de 518 valores, se obtiene una altura de calado medio de **12.91 cm**. Destacar de nuevo la oscilación de los valores en un intervalo comprendido entre 8 y 15.

6.3.2. Segundo prueba

En este caso de estudio se modifican las condiciones de contorno, se hará pasar un frente que avance por el canal, y de este modo observar cómo influye con las lecturas que registre el sensor. Las lecturas se procederán con un delay de 200 dado que es una captación de datos que permite ver a tiempo real la variación de los datos que aparecen por pantalla y poderlos examinar detalladamente.

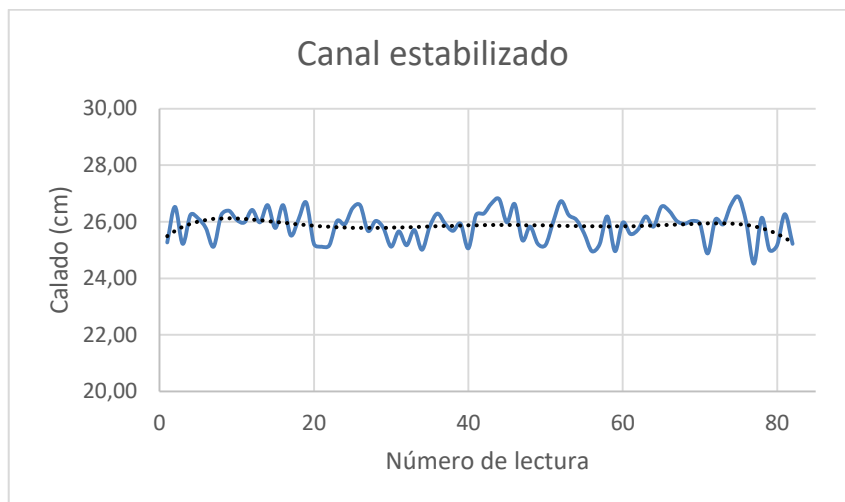
Se aumenta el caudal del canal y los datos registrados se representan en el siguiente gráfico:



Gráfica 10. Aumento del caudal en el canal.

Se muestra cómo afecta el efecto de oleaje al aumentar el caudal y del mismo modo incrementar la velocidad del agua provocando fluctuaciones en la lámina libre del agua. Una vez estabilizado el paso del frente se vuelve a recopilar nuevos datos con un calado nuevo:

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO



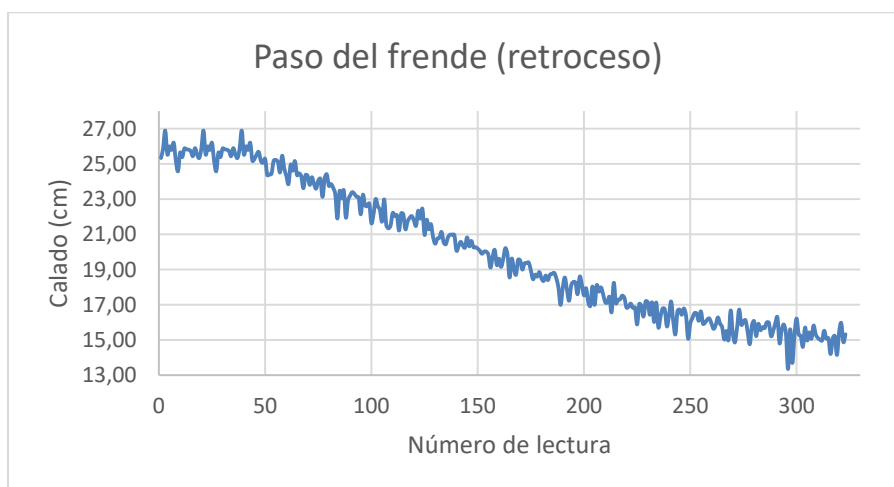
Gráfica 11. Lecturas del calado cuando el canal se ha estabilizado

Como se puede observar en el gráfico anterior, la línea de tendencia es estable con una media del calado igual a: **25.86 cm**.

6.3.3. Tercera prueba

En este caso se hace el proceso inverso que en la prueba anterior, se hace disminuir el caudal, provocando que el paso del frente retroceda por el canal. Las condiciones de recogida de datos seguirán siendo las mismas que en el anterior apartado, con un delay de 200 y tiempo de lectura necesario para analizar los datos detalladamente.

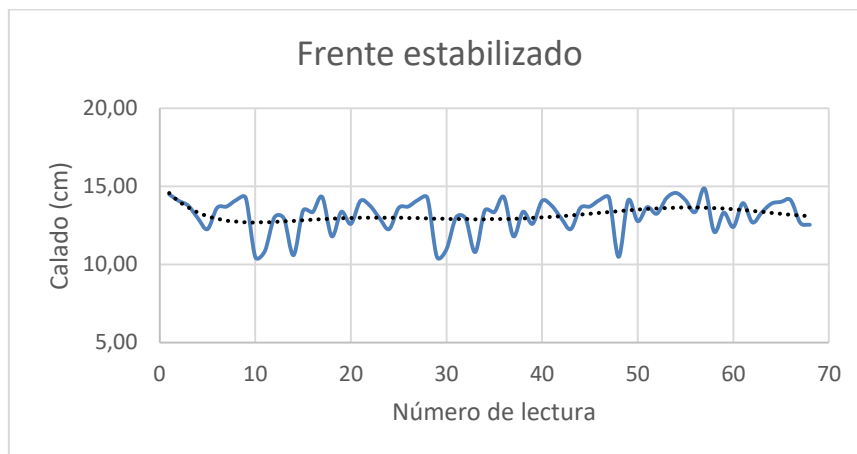
En el gráfico siguiente se muestra como decrece el calado con una tendencia de estabilizarse en los últimos datos recogidos:



Gráfica 12. Disminución del caudal, retroceso del frente

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Las primeras lecturas recogidas son estables con las condiciones de registro del apartado anterior, sobre una media aproximada de calado de 25.5 cm, a medida que se avanza el calado va disminuyendo hasta estabilizarse, como se muestra a continuación:



Gráfica 13. Calado estabilizado, volviendo a las condiciones de inicio

Las lecturas recogidas tienden a una media de **13.16 cm** de calado.

6.4. Comparación de resultados

Número de prueba	Cantidad de lecturas	Valor medio de calado (cm)
1	429	13.14
2	59	13.15
3	518	12.91

Tabla 3. Resumen de los valores medios del calado

Las medias de las lecturas son muy parecidas con los distintos tiempos de recogida de los datos. Difieren de 2.4mm, ya se ha dicho que estos datos pueden tener variaciones y no ser iguales en las distintas pruebas a causa del pequeño oleaje en la lámina libre de agua que hay en el canal.

Comentar las gráficas 10 y 12:

- La segunda prueba que se realizó en el canal, consistía en aumentar el caudal para ver como reaccionaba el sensor con cambios en el régimen del canal, se observa que de estar en una situación estable con un calado medio aproximado a 13cm va aumentando hasta quedar estabilizado de nuevo a 26 cm aproximadamente. En el grafico se nota que a partir de las lecturas cercanas a 70

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL LABORATORIO

hay un incremento del valor del calado con grandes oscilaciones regulares, no es como en casos anteriores que las oscilaciones eran puntuales causadas por los pulsos eléctricos.

- La tercera prueba realizada en el canal, se pretendía volver a la situación inicial. De un calado estable de la anterior prueba, 26 cm más o menos se disminuye la presión de las bombas haciendo que el caudal en el canal disminuya por consecuencia el calado también disminuirá, en la gráfica desciende de forma más suave, ya que se pasa de un régimen turbulento con olas pronunciadas a un régimen laminar hasta estabilizar el canal, que como se observa en la gráfica 13 vuelve al calado inicial aproximado a 13 cm.

6.5. Comparación entre el sensor infrarrojo y el sensor ultrasónico

De la misma forma que se compararon las pruebas de calibración, una vez realizadas las pruebas en el laboratorio se vuelve a repasar las diferencias entre un sensor y el otro.

Se observa que en las pruebas realizadas aguas arriba del vertedero realizadas con el sensor infrarrojo, muestran unas gráficas más estables, con pequeñas oscilaciones pero constantes a un valor medio. Por otro lado las pruebas realizadas en el centro del canal, con el sensor ultrasónico muestran muchas más oscilaciones aun siendo constantes en un valor medio. Este fenómeno es causado por el oleaje que se produce en el canal. Aguas arriba el sensor está colocado en el interior de un cilindro donde estas fluctuaciones del agua serán mínimas, al contrario que sucede con el otro sensor, colocado donde se producen las turbulencias y cambios de régimen del canal.

No se concluye que sensor de los dos es mejor, ya que trabajan en situaciones distintas, aun así en condiciones hidráulicas se aconseja utilizar el sensor de distancia por ultrasonidos.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. Generales

Si se analiza el proyecto y se recuerdan los objetivos que se describen en el primer punto, en línea general se han cumplido satisfactoriamente uno a uno. Se ha hecho uso de nuevas herramientas low-cost en el desarrollo del trabajo en el laboratorio, consiguiendo unos resultados fiables en la lectura del calado en el canal hidráulico. Trabajando con códigos abiertos, aprendiendo el lenguaje de programación usado y llegando a realizar la animación de la simulación del canal con el sistema de partículas. Asimismo se han usado tecnologías modernas y de última generación como es la impresora 3D, haciendo el prototipo de cero y obteniendo buenos resultados en la pieza final.

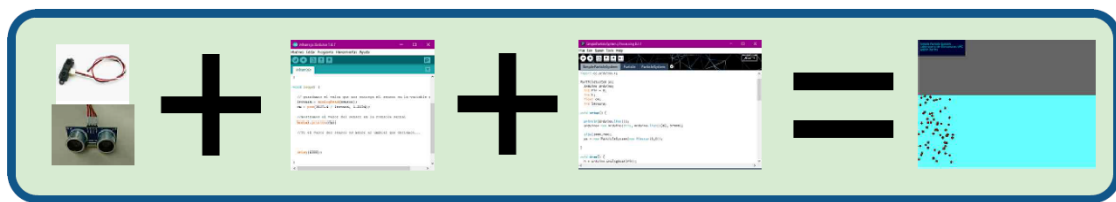


Figura 43. Esquema general de la línea que sigue el Trabajo. Fuente: elaboración propia

Las distintas pruebas en el laboratorio han dado resultados que se pueden considerar fiables, aunque son estudios experimentales y los valores finales empíricos. En conclusión se puede decir que omitiendo los resultados obtenidos en las pruebas de calibración donde las conclusiones decían que no eran fiables, se ha demostrado que los sensores en el canal funcionan y los resultados obtenidos no difieren bastante de la realidad para no aceptarlos como buenos.

Se ha conseguido un nuevo sistema de medir el calado en el canal pudiendo substituir el limnómetro, de este modo las lecturas obtenidas pueden ser a tiempo real, haciendo media de estos tiempos obtener resultados fiables.

7.2. Objetivo del ensayo practico

Como objetivos más específicos se describieron 3 bloques que se han logrado con buenos resultados.

Cambiar parte de la estructura del canal, con el uso de materiales tradicionales en combinación con materiales de última generación (pieza 3D), permitiendo la sujeción de los sensores.

Aprender a utilizar plataformas de código abierto, facilitando la generación de nuevos proyectos y aplicaciones, entrar en el mundo de Arduino y Processing sin tener una gran base de programación y haber podido lograr hacer funcionar este proyecto, empezando por el sistema eléctrico de los sensores y la placa Arduino, asimismo la redacción de los códigos para que los sensores funcionaran correctamente y con un rendimiento aceptable, la elaboración de esquemas y la utilización del programa FreeCAD para la realización de la pieza que se imprimió con la impresora 3D. Las ventajas que tiene trabajar con todos estos programas es que da la libertad de crear, producir y llevarlo a la realidad de una forma sencilla, práctica y didáctica para cualquier estudiante.

La animación del sistema de partículas puede mejorarse, pero con la base de programación inicial casi nula se ha intentado que sea lo más gráficamente entendible y dinámica.

No olvidar que la realización del trabajo a estado llevada a cabo con el presupuesto que se pactó con el departamento de Hidráulica, todo el material ha estado subvencionado por ellos y se espera que esta nueva herramienta desarrollada in situ en el canal les sea útil, ya que el objetivo general y principal de este proyecto era desarrollar herramientas de fabricación digital para la instrumentación de canal hidráulico. Entonces se tendrá que dar como una de las conclusiones más importantes el valor del material utilizado frente al material que había en el laboratorio hasta el momento, cuando para el presente proyecto se han gastado una cantidad aproximada de 75€, materiales típicos de laboratorio pueden oscilar de 100€ los más sencillos y menos precisos que el desarrollado en este trabajo hasta herramientas que pueden superar los 2500€ siendo instrumentos de alta calidad y de precisiones muy buenas. Es decir, cabe destacar que con herramientas de fabricación digital se pueden crear proyectos donde la calidad buena y precios económicos.

7.3. Futuras líneas de investigación

Seguidamente se indican unos puntos para futuras líneas de investigación, cambios en el proyecto que una vez completado se hace notar que modificando elementos o partes del código podrían mejorar el rendimiento y los resultados.

- Cambiando el modelo de los sensores por otros de más rango de precisión mejorarían los resultados y serían más fiables pero el presupuesto aumentaría.
- Seguramente gente con una base de programación más elevada podría modificar los códigos y con los sensores utilizados aumentar el rendimiento de todo el sistema.
- Asimismo pasa con el código de la simulación del sistema de partículas, añadiéndole el efecto del oleaje e introduciendo más variables, a parte del calado recogido con el sensor de proximidad por ultrasonidos.

REFERENCIAS

1. *Arduino*. ArduinoUNO. Obtenido de arduino.cc:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>. [Junio 2017]
2. *Arduino*. Introducción Arduino. Obtenido de instructables.com:
<http://www.instructables.com/id/Arduino-Tutorial-0-Introducci%C3%B3n/> [Junio 2017]
3. *Arduino*. Tipos de placas. Obtenido de comohacer.eu: <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/> [Junio 2017]
4. BALAMURALITHARA, B. y WOODS, P. C. (2007). *Virtual Laboratories in Engineering Education: The Simulation Lab and Remote Lab*. Malaysia: Multimedia University
5. CHACÓN, R. CODONY, D. y TOLEDO, Á. (2017). *From physical to digital in structural engineering classrooms using digital fabrication*. Spain: School of Civil Engineering, UPC. (pp. 1-11)
6. CHACÓN, R. y OLLER, S. (2017). *Designing Experiments Using Digital Fabrication in Structural Dynamics*. Spain: School of Civil Engineering, UPC
7. *Datasheet Sensor de distancia por infrarrojo, modelo: SP2Y0A21YK*. Obtenido de Electran.com: <http://www.electan.com/datasheets/GP2Y0A21YK.pdf> [Junio 2017]
8. FEISE, L. D., ROSA, A. J. (2005). *The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education*. U.S.A: Journal of engineering Education (pp. 121-130)
9. *FreeCAD*. Obtenido de FreeCAD: <https://www.freecadweb.org/> [Junio 2016]
10. *Fritzing*. Obtenido de fritzing.org: <http://fritzing.org/home/> [Junio 2017]
11. GUTIÉRREZ, J. E., ZAMORA, B. y ESTEVE, J. (2016). *Acquisition of Offshore Engineering Design Skills on Naval Architecture Master Courses Through Potential Flow CFD Tools*. Spain: Universidad Politécnica de Cartagena (pp. 48-61)
12. HUDSON, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*, Bedford. Reino Unido (pp.57-82)
13. *Inkscape*. Obtenido por inkscape.org: <https://inkscape.org/es/acerca-de/resumen/> [Junio 2017]
14. LUX, M. A. (2010). *Medidores de Flujo en Canales Abiertos* (Trabajo Final de Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
15. *Hidrometría del agua*. Obtenido de fing.edu.uy:
<https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/hidrometria.pdf> [Junio 2017]

REFERENCIAS

16. MATLAB. Obtenido de mathworks.com: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> [Junio 2017]
17. NIAZKAR, M. y HOSEIN, s. (2016). *Analysis of Water Distribution Networks Using MATLAB and EXCEL Spreadsheet: h~Based Methods*. Iran: Shiraz University (pp.129-141)
18. ORTEGA-GAUCIN, D. (2012). *Hidrométrica Básica: Aplicada a la Operación de Distritos y Unidades de Riego*. México: Instituto del Agua del Estado de Nuevo León (pp.19-
19. Processing. Obtenido de processing.org: <https://processing.org/> [Junio 2017]
20. Processing. Examples:: <https://processing.org/examples/rotate.html> [Abril 2016]
21. Processing. Introducción al Processing. Obtenido de mosaic.uoc.edu: <http://mosaic.uoc.edu/2012/04/30/introduccion-a-processing/> [Junio 2017]
22. RADINSCHI, I., FRATIMAN, V., CIOCAN, V. y CAZACU, M. M. (2017). *Interactive Computer Simulations for Standing Waves*. Romania
23. ROBERSON, J. A., CASSIDY, J.J. y CASSIDY, M. *Hydraulic Engineering*. U.S.A
24. SeaFEM. Obtenido de compassis.com: <http://www.compassis.com/compass/es/Productos/SeaFEM> [Junio 2017]
25. *The Nature Of Code*. Particle System. Obtenido de natureofcode.com: <http://natureofcode.com/book/chapter-4-particle-systems/> [Junio 2017]

ANEXOS

ANEXO 1. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Infrarrojos

ANEXO 2. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Infrarrojos

ANEXO 3. Datasheet del sensor de distancia por Infrarrojos

ANEXO 4. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Ultrasonidos

ANEXO 5. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Ultrasonidos

ANEXO 6. Datasheet del sensor de distancia por ultrasonidos

ANEXO 7. Código de Processing para la simulación del sistema de partículas

ANEXO 1. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Infrarrojos

```
//Medir distancias con el sensor SHARP GP2Y0A21YK

//Se introducen las constantes que no variaran a lo largo del programa:

int sensor = 0;                // Donde se guarda el valor del sensor, pin de
lectura A0

float lectura;                 // Variable para almacenar la lectura del sensor

float cm;                      // Variable que da el resultado de la distancia en cm


void setup() {
    // Se inicia la comunicación serial
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    // Se guarda el valor que nos entrega el sensor en la variable distancia
    lectura = analogRead(sensor);

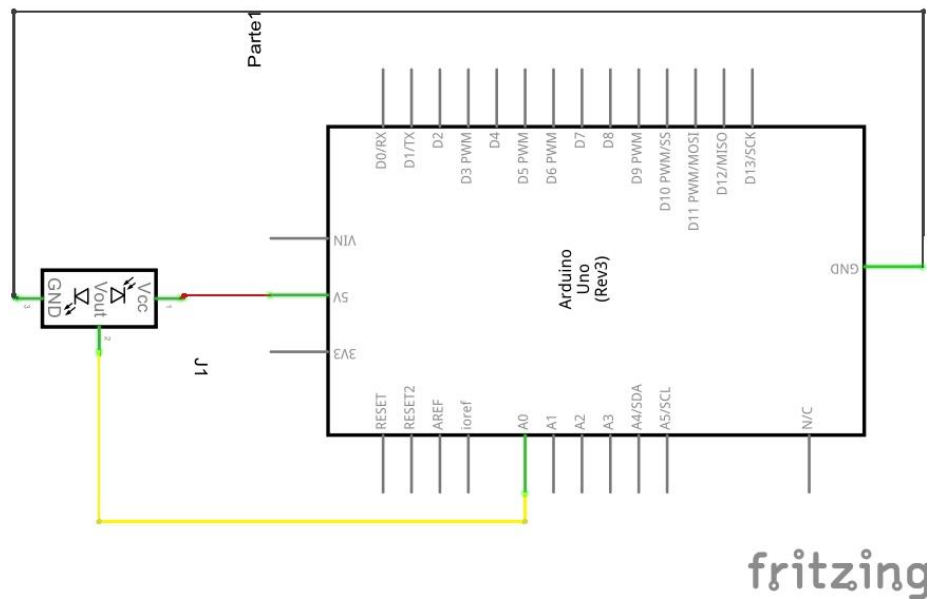
    // Conversión a centímetros
    cm = pow(3027.4 / lectura, 1.2134);

    Serial.println(cm);        //mostramos el valor del sensor en la consola serial

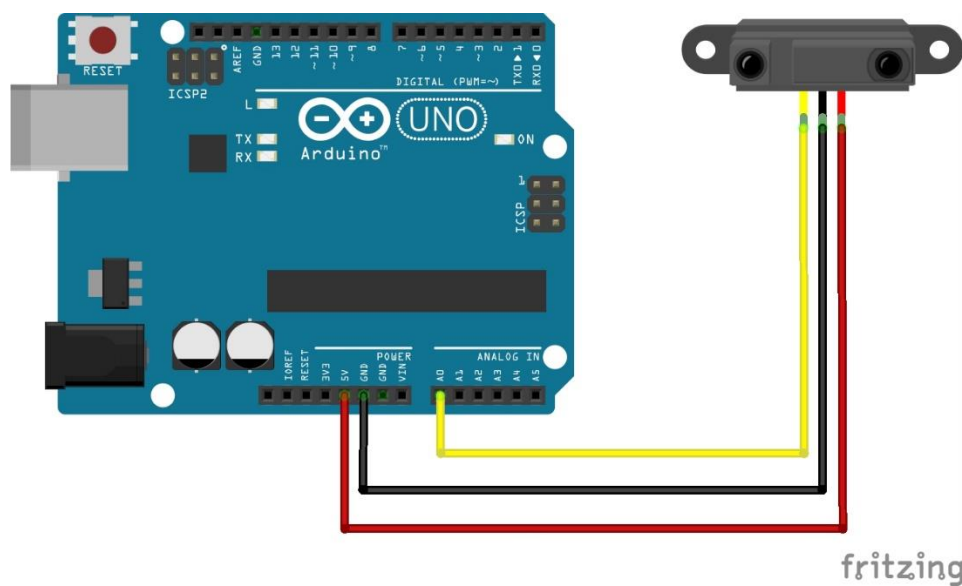
    //Tiempo de espera para realizar otra lectura
    delay(1000);
}
```

ANEXO 2. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Infrarrojos

Esquema electrónico, se conecta el sensor mediante Vcc y GND, respectivamente a Arduino, 5V y GND. El tercer cable se conecta al pin de señal a una de las entradas analógicas de Arduino.



Conexión entre Sensor SHARP y Arduino:



ANEXO 3. Datasheet del sensor de distancia por Infrarrojos

SHARP

GP2Y0A21YK/GP2Y0D21YK

GP2Y0A21YK/ GP2Y0D21YK

■ Features

1. Less influence on the color of reflective objects, reflectivity
2. Line-up of distance output/distance judgement type
Distance output type (analog voltage) : GP2Y0A21YK
Detecting distance : 10 to 80cm
Distance judgement type : GP2Y0D21YK
Judgement distance : 24cm
(Adjustable within the range of 10 to 80cm [Optionally available])
3. External control circuit is unnecessary
4. Low cost

■ Applications

1. TVs
2. Personal computers
3. Cars
4. Copiers

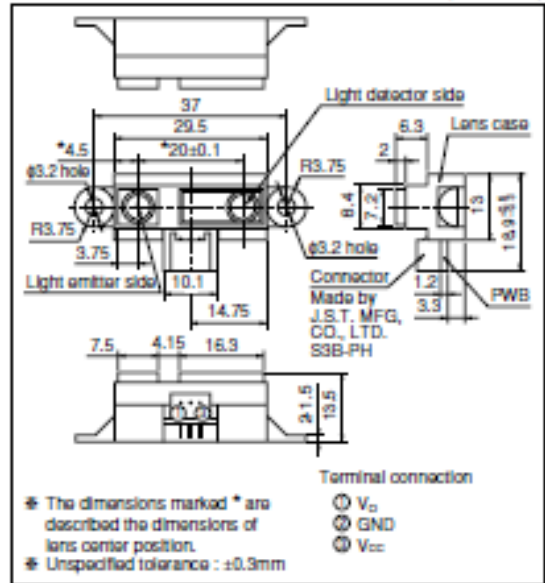
■ Absolute Maximum Ratings ($T_a=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V_O	-0.3 to $V_{CC}+0.3$	V
Operating temperature	T_{op}	-10 to +60	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 to +70	$^{\circ}\text{C}$

General Purpose Type Distance Measuring Sensors

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



Notice In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

Insinner Insinner address: for Electronic Components Group <http://sharp-world.com/eng/>

■ Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating supply voltage	V_{CC}	4.5 to +5.5	V

■ Electro-optical Characteristics

(T_a=25°C, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Distance measuring range	ΔL	*1 *3	10	—	80	cm	
Output terminal voltage	GP2Y0A21YK	V_O	$L=80\text{cm}$ *1	0.25	0.4	0.55	V
	GP2Y0D21YK	V_{OH}	Output voltage at High *1	$V_{CC}-0.3$	—	—	V
		V_{OL}	Output voltage at Low *1	—	—	0.6	V
Difference of output voltage	GP2Y0A21YK	ΔV_O	Output change at $L=80\text{cm}$ to 10cm *1	1.65	1.9	2.15	V
Distance characteristics of output	GP2Y0D21YK	V_O	*1 *4 *2	21	24	27	cm
Average Dissipation current	I_{CC}	$L=80\text{cm}$ *1	—	30	40	mA	

Note) L : Distance to reflective object

*1 Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co. Ltd, gray cards R-27 : white face, reflective ratio : 90%)

*2 We ship the device after the following adjustment : Output switching distance L=24cm±3cm must be measured by the sensor

*3 Distance measuring range of the optical sensor system

*4 Output switching has a hysteresis width. The distance specified by V_O should be the one with which the output L switches to the output H

Fig.1 Internal Block Diagram

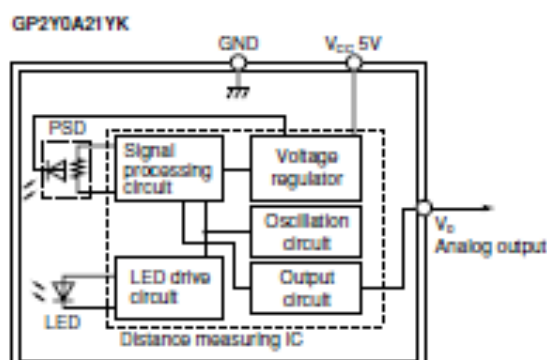


Fig.2 Internal Block Diagram

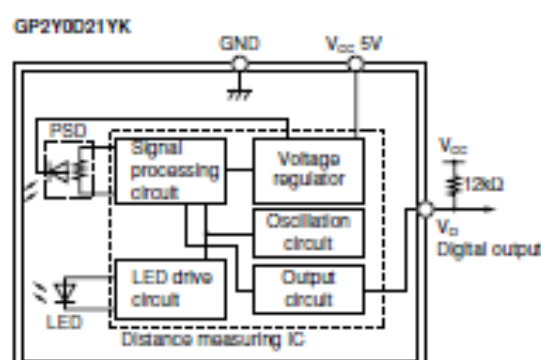


Fig.3 Timing Chart

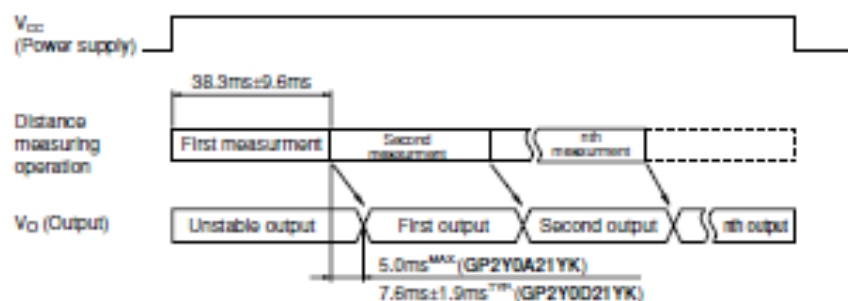


Fig.4 Distance Characteristics

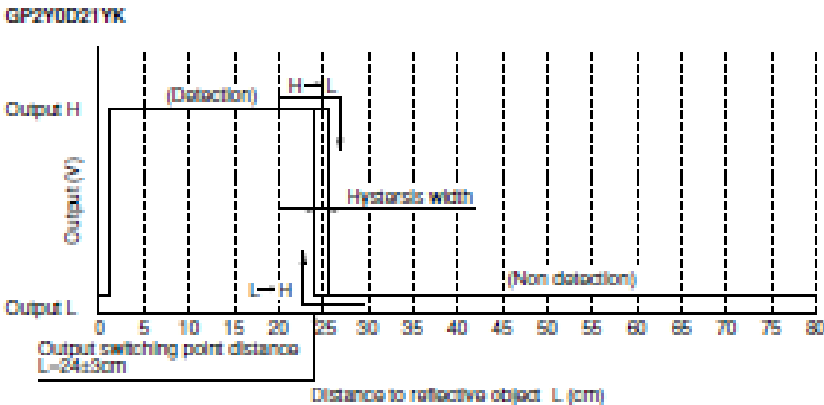
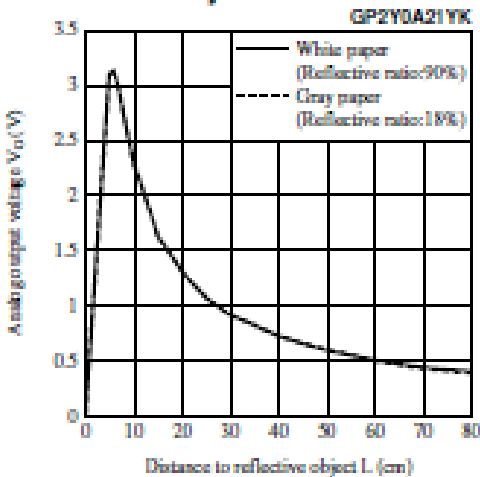


Fig.5 Analog Output Voltage vs. Distance to Reflective Object



NOTICE

- The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.
- Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device. SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.
- Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions:
 - (i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:
 - Personal computers
 - Office automation equipment
 - Telecommunication equipment [terminal]
 - Test and measurement equipment
 - Industrial control
 - Audio visual equipment
 - Consumer electronics
 - (ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection with equipment that requires higher reliability such as:
 - Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
 - Traffic signals
 - Gas leakage sensor breakers
 - Alarm equipment
 - Various safety devices, etc.
 - (iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:
 - Space applications
 - Telecommunication equipment [trunk lines]
 - Nuclear power control equipment
 - Medical and other life support equipment (e.g., scuba).
- Contact a SHARP representative in advance when intending to use SHARP devices for any "specific" applications other than those recommended by SHARP or when it is unclear which category mentioned above controls the intended use.
- If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.
- This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.
- Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.

ANEXO 4. Código de Arduino conectado al sensor de distancia por Ultrasonidos

```
//Medir distancia con el sensor ultrasónico HC-SR04

//Se configuran los variables que se van a utilizar
float distancia;           //Almacena la distancia que lee el sensor
float tiempo;              //Almacena el tiempo de recorrido

void setup() {
  // Se inicia la comunicación serial
  Serial.begin(9600);

  pinMode(9,OUTPUT);       //activación del 9 como salida: para el pulso
                             ultrasónico
  pinMode(8, INPUT);       //activación del pin 8 como entrada: tiempo de rebote
                             del ultrasonido
}

void loop() {
  digitalWrite(9,LOW);      //Por cuestión de estabilización del sensor
  delayMicroseconds(5);    //Esperar 5 microsegundos entre los pulsos
  digitalWrite(9, HIGH);   // envío del pulso ultrasónico
  delayMicroseconds(10);   // Esperar 10 microsegundos entre los pulsos
  tiempo=pulseIn(8, HIGH); //Función para medir la longitud del pulso entrante

  /* Mide el tiempo que ha transcurrido entre el envío del pulso ultrasónico y cuando el
  sensor recibe el rebote, es decir: desde que el pin 8 empieza a recibir el rebote, HIGH,
  hasta que deja de hacerlo, LOW, la longitud del pulso entrante*/
```

*/*Conversión para calcular la distancia en cm, obteniendo un valor entero*/*

distancia= float(0.017*tiempo);

// Enviar los resultados al monitor seria

Serial.println("Distancia ");

Serial.println(distancia);

Serial.println(" cm");

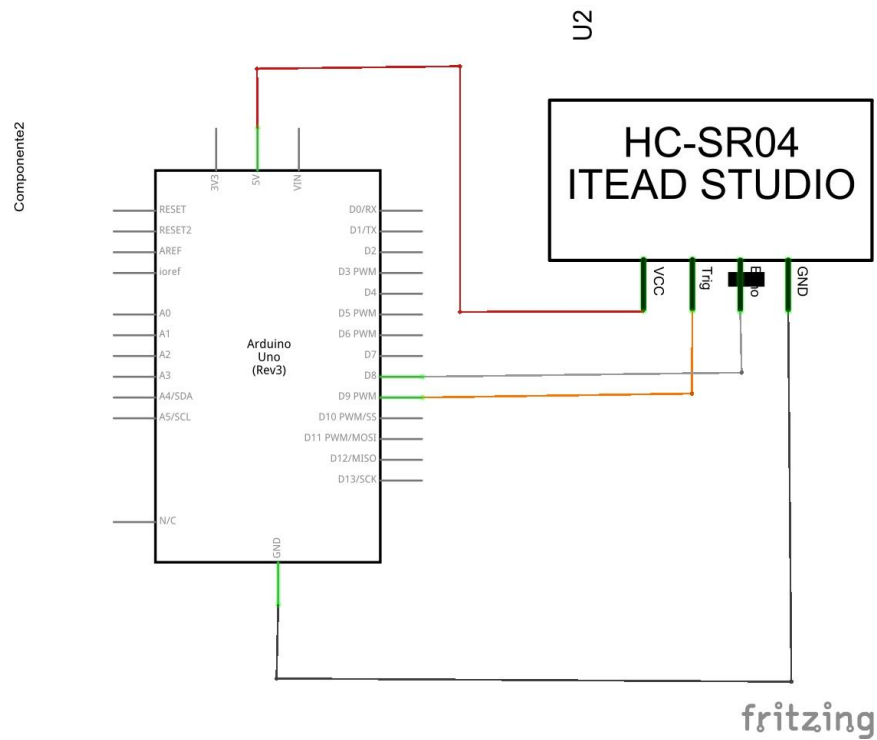
//Tiempo de espera para realizar otra lectura

delay(2000);

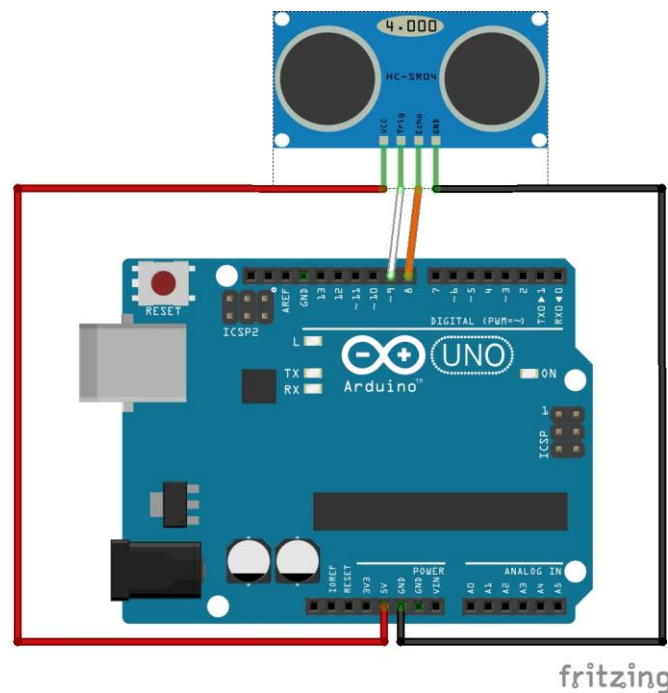
}

ANEXO 5. Esquema eléctrico y montaje del sensor de distancia por Ultrasonidos

El esquema eléctrico es el que se presenta a continuación, conectando la Vcc a los 5V del Arduino, el Trig y Echo a dos entradas digitales del Arduino y el GND con la entrada de tierra de la placa



Conexión entre el sensor y la placa Arduino:



ANEXO 6. Datasheet del sensor de distancia por ultrasonidos

HC-SR04 Ultrasonic Range Finder

Manual

Features

- Distance measurement range: 2cm - 400cm
- Accuracy: 0.3cm
- Detect angle: 15 degree
- Single +5V DC operation
- Current consumption: 15mA

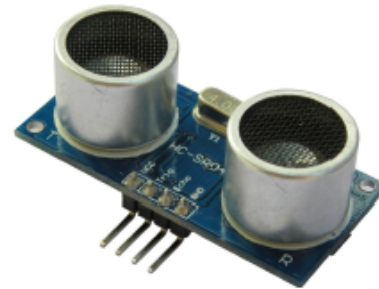


Fig. 1

How It Works

HC-SR04 consists of ultrasonic transmitter, receiver, and control circuits. When triggered it sends out a series of 40KHz ultrasonic pulses and receives echo from an object. The distance between the unit and the object is calculated by measuring the traveling time of sound and output it as the width of a TTL pulse.

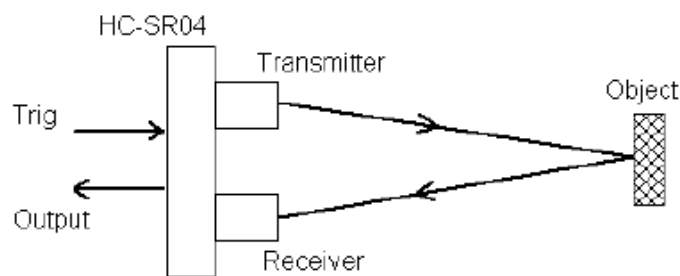


Fig. 2

How To Use It

To measure distance you need to generate a trig signal and drive it to the Trig Input pin. The trig signal level must meet TTL level requirements (i.e. High level > 2.4V, low level < 0.8V) and its width must be greater than 10us. At the same time you need to monitor the Output pin by measuring the pulse width of output signal. The detected distance can be calculated by the formula below.

$$\text{Distance} = \frac{\text{Pulse Width} * \text{Sound Speed}}{2}$$

where the pulse width is in unit of second and sound speed is in unit of meter/second. Normally sound speed is 340m/s under room temperature.

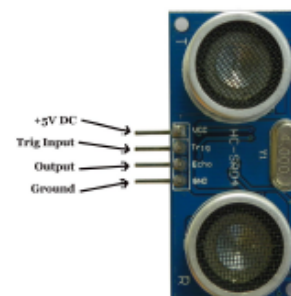


Fig.3

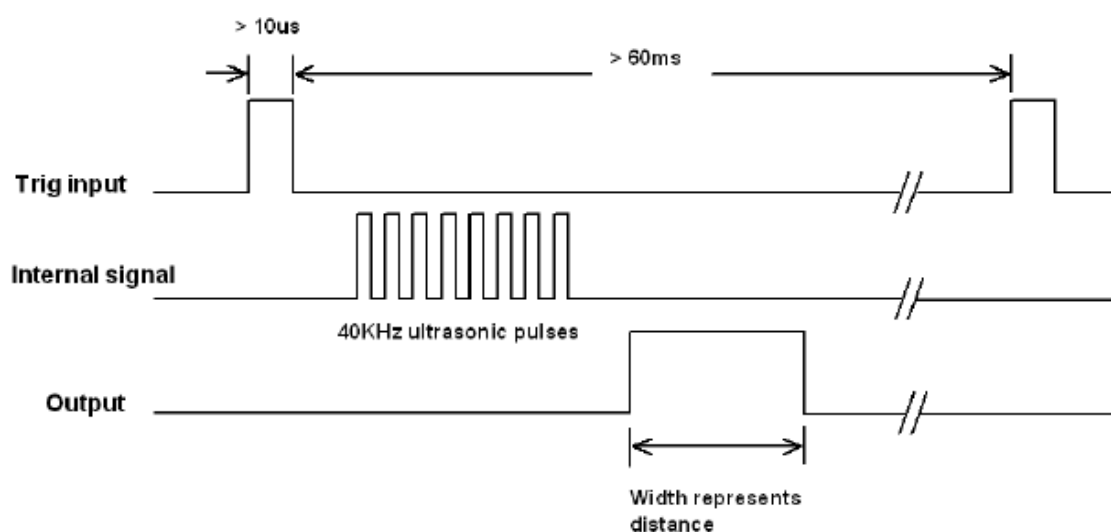


Fig. 4

- Notes:**
1. The width of trig signal must be greater than $10\mu s$
 2. The repeat interval of trig signal should be greater than $60ms$ to avoid interference between consecutive measurements.

Specifications

Parameters	Specification
Operating Voltage	+5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Maximum Distance	400cm
Minimum Distance	2cm
Detect Angle	15 degree
Resolution	0.3cm
Input Trig Signal	$>10\mu s$ TTL pulse
Output Signal	TTL pulse with width representing distance
Weight	
Dimension	45 x 20 x 15 mm

ANEXO 7. Código Processing para recibir los datos del sensor de distancias por Ultrasonido

//SIMPLE PARTICLE SYSTEM

```
import processing.serial.*;          /* Bibliotecas que son necesarias para que
import org.firmata.*;               Processing se conecte con Arduino */
import cc.arduino.*;

//Parte general del sistema de partículas

ParticleSystem ps;

  Arduino arduino;                  // Crea el objeto Arduino

//Se inician las constantes y variables que se utilizarán

int Pin = 0;                        //Designa el número de PIN para el LED

int h;

float cm;

int lectura;

void setup() {

  println(Arduino.list());          //Devuelve una lista con los dispositivos serie
                                    disponibles

  //Configura el puerto como [0]

  arduino= new Arduino(this, Arduino.list()[0], 57600);

  size(1000,700);

  ps = new ParticleSystem(new PVector(0,0));

}
```

```
void draw() {  
  
  h = arduino.analogRead(Pin);      //Lee el valor de un determinado pin definido  
                                     como entrada analógica  
  
  cm = pow(3027.4 / h, 1.2134);      //Conversión de la distancia a cm  
  
  //Con estos condicionales se pretende que las pequeñas turbulencias causadas por el  
  oleaje no afecten a la simulación  
  
  if((cm >= 80)){  
    lectura = 900;  
  }  
  
  if((cm >= 70)&&(cm <= 80)){  
    lectura = 800;  
  }  
  
  if((cm >= 60)&&(cm <= 70)){  
    lectura = 700;  
  }  
  
  if((cm >= 50)&&(cm <= 60)){  
    lectura = 600;  
  }  
  
  if((cm >= 40)&&(cm <= 50)){  
    lectura = 500;  
  }  
  
  if((cm >= 30)&&(cm <= 40)){  
    lectura = 400;  
  }  
  
  if((cm >= 20)&&(cm <= 30)){  
    lectura = 300;
```

ANEXOS

```
}  
if((cm >= 10)&&(cm <= 20)){  
    lectura = 200;  
}  
if((cm <= 10)){  
    lectura = 100;  
}  
  
//Parte estética del programa  
background(102,255,255);  
rectMode(CORNER);  
fill (100);  
rect(0,0,1000,lectura);  
ps.addParticle();  
ps.run();  
  
fill(0,0,51);  
rect (0,0,530,170);  
textSize (16);  
fill (0,255,255);  
text ("Simple Particle System", 10, 30);  
text ("Laboratorio de Estructuras UPC", 10, 45);  
text ("Judith Xarles", 10, 60);  
  
println(cm);  
}
```

//PARTICLE

```

class Particle {
//Se definen todos los vectores y variables de una particular individual
    PVector location;
    PVector velocity;
    PVector acceleration;
    float posX = 0;
    float posY = random(lectura+5,height);
    float vx = 0;
    float vy = 0;
    float ax = 0;
    float ay = 0;
    float angle;
    float jitter;
    float anty;

//Se define la aceleración, velocidad y posición que adopta la particular al nacer
    Particle(PVector l) {
        acceleration = new PVector(ax,ay);
        location = new PVector(posX,posY);
        velocity = new PVector(vx,vy);
        jitter = random (0,PI);
    }

    void run() {

```

```
velocity.x = random(1,5);  
velocity.y = 0.* sin(location.x*PI/180);  
  
if (location.y <= lectura){  
location.y = random (lectura+5,height);  
}  
  
update();  
display();  
  
}  
  
// Donde nace la partícula  
void update() {  
velocity.add(acceleration);  
location.add(velocity);  
angle = angle + jitter;  
  
}  
  
// Donde se dibuja la partícula  
void display() {  
  
fill(102,51,0);
```

```

    rectMode(CENTER);
    pushMatrix();
    translate(location.x,location.y);
    rotate(angle);
    rect(0,0,10,10);
    popMatrix();

}
}

```

//PARTICLE SYSTEM

```

class ParticleSystem {
    ArrayList<Particle> particles;    //Matriz donde se guardan las partículas
    PVector origin;

    ParticleSystem(PVector location) {
        origin = location.get();
        particles = new ArrayList<Particle>();
    }

    void addParticle() {
        particles.add(new Particle(origin));
    }

    void run() {
        for (int i = particles.size()-1; i >= 0; i--) {

```

```
Particle p = particles.get(i);  
p.run();  
if (p.location.x >= width) {  
    particles.remove(i);           //Cuando superan un cierto valor son  
                                   eliminadas  
}  
}  
}  
}
```